

PRINCIPAIS MATERIAIS E TECNOLOGIAS UTILIZADOS NA MANUFATURA ADITIVA UTILIZANDO MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Francisco Tiago Araújo Barbosa (UFPB) francisco.tiago2@academico.ufpb.br
Rogério Santana Peruchi (UFPB) rsp@academico.ufpb.br

Resumo

A impressão 3D, também conhecida como manufatura aditiva é uma das ferramentas tecnológicas presentes na indústria 4.0. Essa técnica vem impulsionando diversas áreas, com medicina, farmácia, construção, espacial e engenharias. A manufatura aditiva apresenta desafios, como resistência mecânicas, precisão dimensional e sustentabilidade. Abordar essas complexidades requer a interação de tecnologias, matérias e métodos. Como esse campo de estar evoluindo rapidamente, é útil uma avaliação crítica e periódica do entendimento das necessidades de evolução e melhoria. Esse artigo procura entender essas necessidades, abrange a pesquisa sobre manufatura aditiva, ou impressão 3D. Fornece uma visão abrangente sobre informações que apoiará os pesquisadores, bem como, os profissionais que utilizam a manufatura aditiva. Ter um construto de informações sobre os padrões mais utilizados, seja para melhoria do processo de fabricação, dimensional, ou para melhoria mecânica, dará embasamento para novas pesquisas e experimentação por parte dos usuários de impressão 3D ou manufatura aditiva. A metodologia utilizada foi uma revisão sistemática da literatura. A singularidade desta revisão inclui resultados sobre os principais materiais utilizados para desenho, corte, impressão, principais corpos de prova e seus padrões utilizados em experimentos, posicionando o estado da literatura a respeito da manufatura aditiva. O objetivo deste artigo é realizar uma revisão sistemática da literatura relacionada à manufatura aditiva através do processo de modelagem por deposição fundida.

Palavras-Chaves: *Industria 4.0, impressão 3D, manufatura aditiva, software fatiador, materiais para impressão*

1. Introdução

A manufatura aditiva (MA), também conhecida como impressão tridimensional (3D), prototipagem rápida (RP), utiliza a técnica de modelagem por deposição fundida (FDM), que consiste em aquecer o filamento termoplástico até seu estado semilíquido, que é depositado

através de um bico camada por camada com mínimo desperdício, extrusão e fusão, camadas de material empilhadas em três dimensões, fatias transversais. A impressão 3D começou por volta de 1984, desenvolvendo o conceito de estereolitografia e a primeira impressora 3D (Zepeng, 2023).

O processo de fabricação aditiva possui técnicas variadas, jateamento de liga (BJ), fusão por feixe de elétrons (EBM), polyjet (PJ), sinterização seletiva a laser (SLS), estereolitografia (SLA), fabricação de objetos laminados (LOM), processamento de luz direta (DLP), a modelagem por deposição fundida (FDM) é uma das mais utilizadas devido à matéria-prima ser mais disponível e de menor valor comercial. Para a fabricação por manufatura aditiva, muitos materiais são utilizados, ácido polilático (PLA), PLA reforçado com fibras de carbono, (CFRPLA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), elastômero termoplástico (TPE), policarbonato (PC), tereftalato de polietileno modificado com glicol (PETg) e polipropileno (PP).

Vários fatores contribuem para tornar a modelagem por deposição fundida competitiva, sem a necessidade de moldes, diferente das técnicas de produção tradicionais, como moldagem por injeção e compressão, fabricar rapidamente estruturas leves e com pouca massa estrutural, com estruturas complexas em pequenas quantidades, ou mesmo em produções únicas, com recursos acessíveis. Na fabricação tradicional, como fresagem e usinagem, os produtos são fabricados através da remoção de materiais em folha e podem não atingir a complexidade de produtos pequenos (Wasti; Adhikari, 2020).

A modelagem por deposição fundida (FDM) é amplamente utilizada, impressão 3D em aplicações aeroespaciais, fabricação de painel sanduíche (Sarvestani et al., 2018), desenvolvimento de tecnologias para otimizar o processo de fabricação com inteligência artificial, impressão metálica, impressão em vidro (Zhang; Liu; Qiu, 2021), usando modelagem de deposição fundida no setor farmacêutico, área biomédica, Impressão de camada de alimentos, energia (Barbosa; Peruchi; Junior, 2023a).

Parâmetros de processo como velocidade de enchimento, número de contornos, espessura da camada, temperatura do leito, densidade de enchimento, ângulo raster, velocidade de impressão, temperatura do bico, altura da camada. Parâmetros da máquina, diâmetro do filamento, largura do filamento, diâmetro do bico. Finalmente, parâmetros relacionados à geometria da peça, características espaciais, orientação da peça (Abas et al., 2022).

Uma das características importantes para o processo de fabricação é a rugosidade superficial, o processo de fabricação da indústria 3D visa produzir peças com alto grau de customização, um acabamento mal acabado, áspero ou fora dos limites de especificação afetará diretamente o valor do produto. para o cliente final, o que impacta as vendas, para rugosidade, diversos estudos foram realizados na tentativa de otimizar fatores de entrada, velocidade de impressão, estudos dos fatores espessura da camada, largura da camada e velocidade de impressão, para verificação da melhor condição de rugosidade utilizando ABS, através do método Taguchi, a inclinação do bico e a espessura mínima influenciam significativamente a superfície das peças impressas em 3D (Reddy et al., 2018).

A diversidade de parâmetros conflitantes contribui para o desvio no processo de fabricação e na estrutura geométrica das peças fabricadas em FDM (Lieneke et al., 2016), foi utilizado o método Taguchi para otimizar as respostas, minimizando alterações na fabricação de peças utilizando acrilonitrila-butadieno-estireno (ABSP) fabricado pela FDM, os fatores estudados forma, espessura da camada, ângulo do raster, largura do raster, entreferro, orientação da peça e suas interações, as respostas foram, mudanças de comprimento, largura e espessura, o estudo ressalta que a metodologia Taguchi não conseguiu alcançar configurações ideais para cada resposta (Padhi; Kumar; Sood, 2017).

Utilizando o método de superfície de resposta (RSM) combinado com um sistema de inferência *fuzzy* (FIS) e algoritmo genérico (GA), para otimizar o processo de fabricação, reduzindo erros dimensionais, deformação por *warp* e tempo de impressão, utilizando como fatores de entrada, largura da camada, impressão velocidade, velocidade de enchimento e espessura da camada, conseguindo mostrar que a combinação de métodos pode efetivamente melhorar a precisão e eficiência do processo de modelagem de deposição fundida (Peng; Xiao; Yue, 2014).

Em relação aos parâmetros de fabricação, o tempo de impressão aumentou quando a densidade de preenchimento foi aumentada, e quando a espessura da camada aumentou, o tempo de impressão diminuiu. Com o aumento dos contornos, a peça aumenta o peso e o tempo de produção, mas as suas propriedades mecânicas também aumentam. Os resultados dos experimentos são confirmados em análises estatísticas (Moradi et al., 2020a).

A associação dos fatores de entrada com o desempenho da impressão, sejam eles relacionados à mecânica ou aos parâmetros de fabricação, a escolha errada dos fatores que compõem a configuração de impressão resulta no aumento dos custos de peças, custos de energia e baixa qualidade das superfícies impressas. Existem vários parâmetros de processo que podem ser

definidos na impressão usando modelagem por deposição fundida (FDM). Considerando o contexto apresentado, este trabalho formula as seguintes questões de pesquisa:

Q1: Quais são as características da literatura sobre modelagem por deposição fundida em impressão 3D?

Q2: Quais são os principais insumos utilizados na modelagem de deposição fundida na manufatura aditiva?

Para responder a essas questões, o objetivo da pesquisa é analisar a literatura sobre otimização de produtos fabricados pelo método de modelagem por deposição fundida. A estrutura do trabalho segue uma lógica, sendo introdução, procedimentos metodológicos, resultados e conclusões.

2. Procedimentos metodológicos

Os artigos de revisão fornecem material atual sobre o corpo de conhecimento desejado, a revisão sistemática da literatura traz pontos importantes a serem considerados; A primeira é identificar lacunas relacionadas ao tema de pesquisa, dando direcionamento à pesquisa, segundo, desenvolve-se e fortalece-se a partir de informações criteriosas sobre o tema estudado.

A revisão sistemática da literatura é constantemente utilizada, nas mais diversas áreas do conhecimento, análise do sistema de medição, Ambiental, Social e Governança (ESG), modelagem de deposição fundida, processos de fabricação 3D, impressão usando ácido polilático (PLA), processos verdes aplicados à cadeia de abastecimento (Barbosa; Peruchi; Junior, 2023b).

2.1 Seleção de amostra

Este artigo utiliza como método uma revisão sistemática da literatura (RSL), realizando uma análise quanto à aplicação de métodos de otimização e análise de processos utilizando modelagem de deposição fundida. A base de dados utilizada nesta pesquisa foi a Web of Science (WOS), sem utilização de filtros por anos de publicação, com filtros ou tipos de documentos, a RSL segue três etapas importantes; 1 – revisar o planejamento; 2 – realização da revisão; 3 – divulgação da resenha (Tranfield; Denyer; Smart, 2003).

O tema foi delimitado e as palavras-chave escolhidas, com algumas pesquisas realizadas e uma breve leitura dos títulos e resumos, a tabela está em ordem decrescente dos resultados, na coluna

um, na coluna o número de retornos, e na coluna 3, o link para acesso. A Tabela 1 demonstra as combinações utilizadas para selecionar o corpo de conhecimento selecionado. Tabela 1: Combinações de palavras-chave, resultados e link para a consulta.

Tabela 1: Combinações de palavras-chave, resultados e link para a consulta

Pesquisa	Resultado	Link
"Fused Deposition Modeling" and "optimization" (Topic) and "Full Factorial Design*" or 3D or 3d printing or Additive manufacturing and design of experiment or robust parameter design and "Response Surface Methodology" and "optimization" and desirability (Title) and Review Article or Article (Document Types)	187	https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/2737628d-a258-4b14-81de-6048ec80806c-a0dac840/relevance/1

Fonte: Autores (2023)

A combinação selecionada foi baseada nas palavras-chave, no tópico, "Modelagem de Deposição Fundida" e "otimização" e como título, "Projeto Fatorial Completo*" ou Impressão 3D ou 3D ou Fabricação Aditiva e Projeto de Experimento ou Projeto Robusto de Parâmetros e " Metodologia de superfície de resposta" e "otimização" e desejabilidade e (tipos de documentos), foram selecionados 187 artigos, número que foi baixado no MS Excel, para análise. A base de dados Web of Science fornece dados compatíveis com Mendeley, usados para apoiar análises bibliométricas (Barbosa; Peruchi; Junior, 2023b).

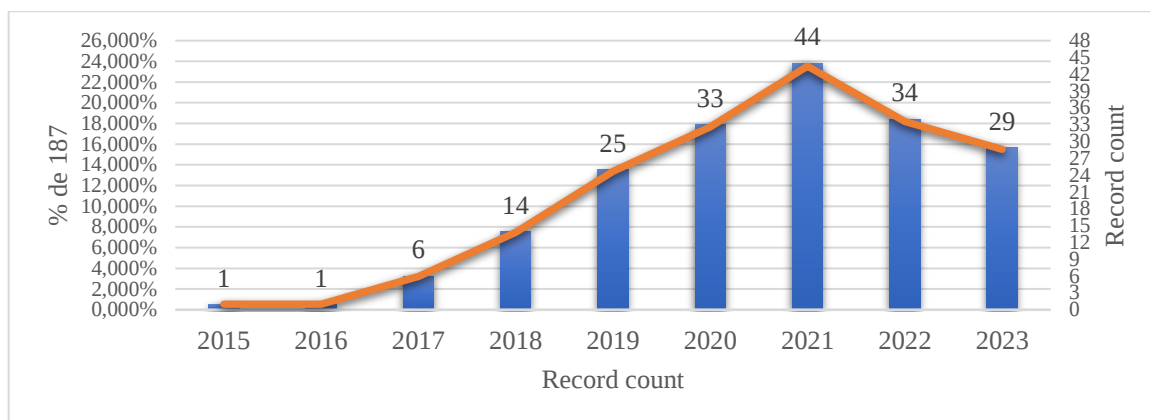
3. Resultados e discussões

3.1. Características da literatura sobre modelagem por deposição fundida em impressão 3D

Para responder à primeira questão de pesquisa, Q1. Foram identificados 187 artigos através das strings de busca descritas na tabela 1, sendo selecionados 31 desses artigos. Através desta amostra foi possível identificar um crescimento constante de publicações relacionadas ao tema de 2015 a 2021, sendo 2021 com 44 registros correspondentes a 23,529%, 2022 com 34 registros 18,182%, 2020 com 33 registros correspondentes a 17,647%, 2023 tem 29

publicações, 15,508%. O ano de 2021 foi o mais pesquisado sobre o tema, entre essa data e 2023 houve redução nas publicações. Figura 1, distribuição da amostra.

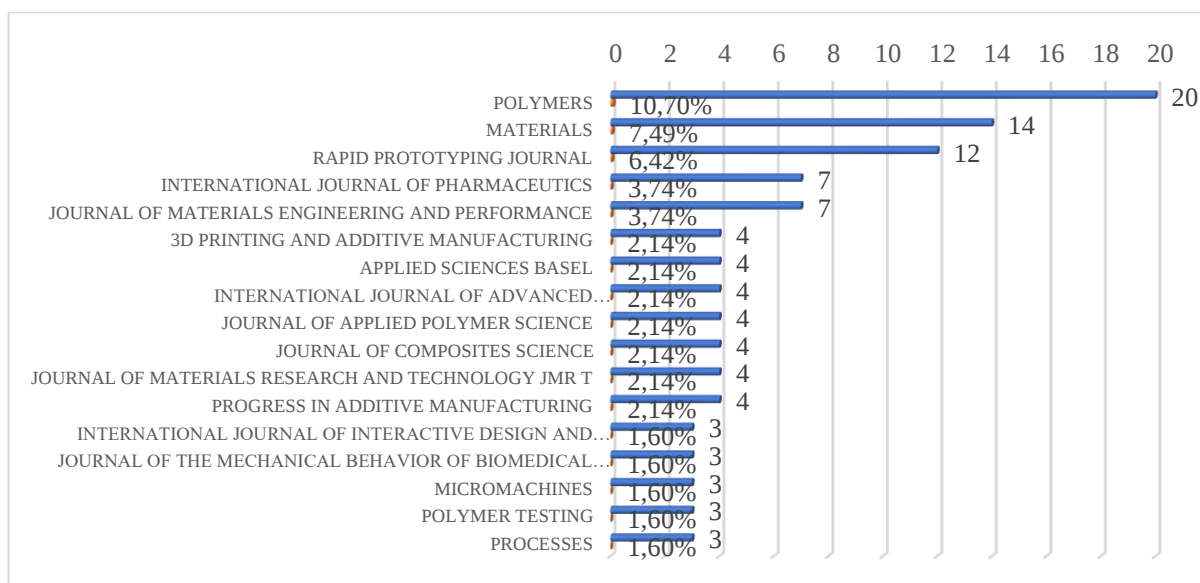
Figura 1: Distribuição anual da amostra de 2015 a 2023



Fonte: Autores (2023)

Publicações sobre otimização utilizando o método de impressão, modelagem por deposição fundida, estão presentes nas mais diversas áreas, o artigo, FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties, ocupa a posição mais elevada na tabela dos mais citados, os gráficos exemplificam a quantidade de artigos publicados nas categorias WoS, o gráfico de barras da figura 2 demonstra as principais revistas utilizadas para publicação de artigos relacionados ao tema, otimização de processos por modelagem por deposição fundida.

Figura 2: Principais registros por categoria (Web of Science 2023)



Fonte: Autores (2023)

O gráfico de barras mostra os quinze principais periódicos por número de artigos publicados, Polymers com 16 publicações, 8,556%, Materials com 13 publicações, 6,952%, Rapid prototyping Journal com 12 publicações, 6,417%, International Journal of pharmaceutics com 7 publicações, 3,743%. O Journal Citation Indicator (JCI) significa que os trabalhos publicados receberam a média esperada para a categoria, > 1 significa melhor que o desempenho de citação esperado na categoria, < 1 significa abaixo do desempenho de citação esperado na categoria. A Tabela 2 apresenta indicadores de autores e revistas.

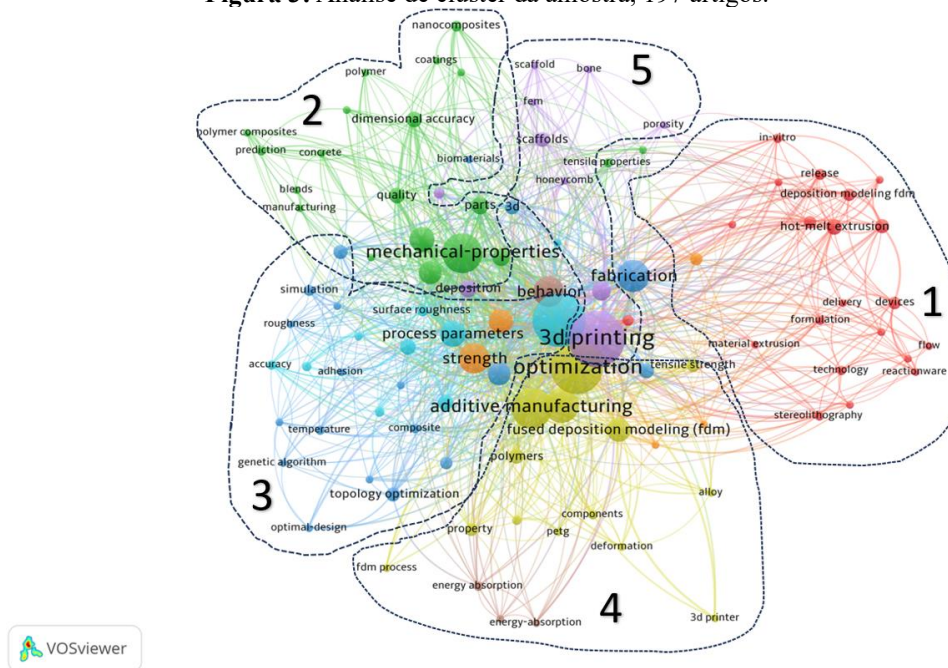
Tabela 2: Fatores de impacto dos títulos, autores e citações

Revista	Autores	JCR	JCI	Citações
Polymer Testing	Wang, SH; Ma, YB; Deng, ZC; Zhang, S; Cai, JX	5.1	1.31	102
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Saad, MS; Nor, AM; Baharudin, ME; Zakaria, MZ; Aiman, AF	3.4	0.62	50
Results in Engineering	Hikmat, M; Rostam, S; Ahmed, YM	5	1.43	47
International Journal of Interactive Design and Manufacturing - IJIDEM	Deswal, S; Narang, R; Chhabra, D	2.1	0.41	48
Polymers	Moradi, M; Moghadam, MK; Shamsborhan, M; Bodaghi, M; Falavandi, H	5	0.9	41
Metals and materials International	Moradi, M; Meiabadi, S; Kaplan, A	3.5	0.68	35
International Journal of Pharmaceutics	Zhang, JX; Thakkar, R; Zhang, Y; Maniruzzaman, M	5.8	1.65	34
Journal of Composites Science	Moradi, M; Moghadam, MK; Shamsborhan, M; Bodaghi, M	3.3	0.45	31
Journal of Materials Research and Technology-JMR&T	Atakok, G; Kam, M; Koc, HB	6.4	1.23	30
Progress in Additive Manufacturing	Durao, LFCS; Barkoczy, R; Zancul, E; Ho, LL; Bonnard, R	NO	NO	27
Rapid Prototyping Journal	Schmitt, M; Mehta, RM; Kim, IY	3.9	0.77	24
Polymers	Waseem, M; Salah, B; Habib, T; Saleem, W; Abas, M; Khan, R; Ghani, U; Siddiqi, MUR	5	0.9	20
Rapid Prototyping Journal	Jiang, CP; Cheng, YC; Lin, HW; Chang, YL; Pasang, T; Lee, SY	3.9	0.77	14

Outro indicador importante da tabela 3 é o fator de impacto do periódico, esse fator mede o número médio de citações dos trabalhos publicados, a tabela também mostra os periódicos em que os artigos foram publicados, os autores e o número de citações dos artigos com mais de 10 citações, 14 até 11/09/2023. A revista que mais aparece na tabela é Rapid Prototyping Journal, com três publicações, Polymers, com duas publicações, na tabela a revista com maior fator de impacto é Journal of Materials Research and Technology-JMR&T, com JCR de 6,4, a revista com o artigo mais citado, Polymer Testing, com 100 citações.

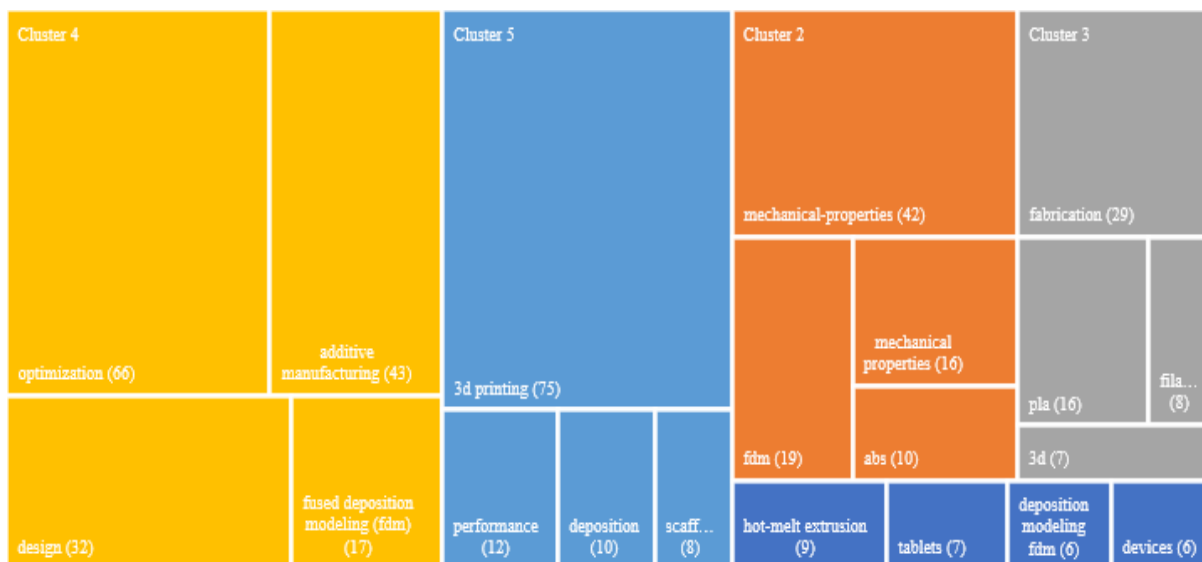
Para análise de como estava sendo realizada a pesquisa foi utilizado o software VOSviewer, os dados foram baixados em formato ris, compatível com Mendeley, e foi inserido o Vosviewer, na figura 5, análise de co-ocorrência de palavras-chave. Foi necessário que a co-ocorrência de 3 palavras-chave de 1015 palavras-chave retornasse 103, sendo impressão 3D a que teve maior expressão com 75 co-ocorrência, modelagem de deposição fundida com 67 correlações, otimização com 66, manufatura aditiva 43, propriedades mecânicas com 42 e design com 32 correlações, esta co-ocorrência apoia a escola de palavras-chave para revisão sistemática da literatura. Figura 3.

Figura 3: Análise de cluster da amostra, 197 artigos.



A amostra está dividida em 8 clusters com 103 palavras-chave, sendo cinco clusters preponderantes, foi traçada uma linha dividindo os cinco clusters mais representativos, as quatro palavras-chave principais de cada cluster são apresentadas no gráfico em árvore, figura 4.

Figura 4: Gráfico em árvore com as 4 palavras-chave que mais apareceram na RSL por clusters



Fonte: Autores (2023)

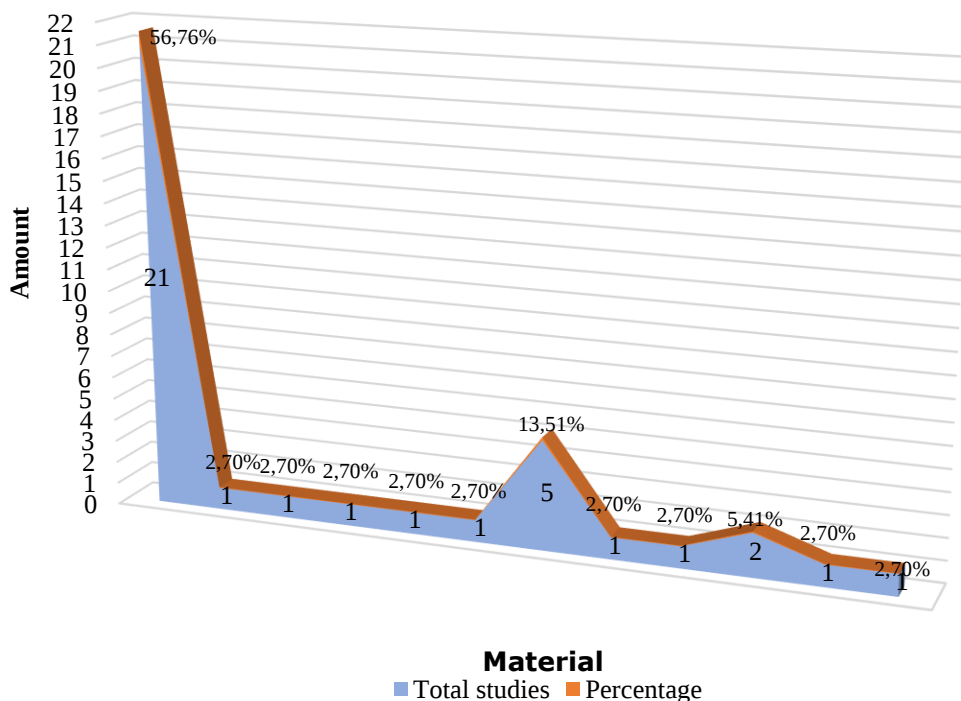
No gráfico em árvore os clusters de análise de rede estão separados e os pontos principais definidos, na caixa amarela temos o cluster 4, otimização sendo repetida em 66 trabalhos, fabricação aditiva 43, design 32 e modelagem por deposição fundida 17, no cluster 5 impressão 3D aparece 75 vezes, seguido de desempenho 12, deposição 10, andaimes 8, cluster 2, propriedades mecânicas 42 vezes, FDM 19, optou-se por deixar a palavra propriedades mecânicas sem o hífen aparecer no cluster, para que outros pesquisadores ou profissionais no momento de sua pesquisa, pode ser baseado nas duas variáveis da palavra, ABS aparece com 10 relações, cluster 3, fabricação 29, PLA 16, filamento 8, 3D 7, por último o último 1 com extrusão hot-melt 9, pastilhas 7, modelagem de deposição FDM 6 e dispositivos 6.

3.2 Materiais usados na fabricação aditiva

A modelagem por deposição fundida (FDM) é um processo baseado em extrusão, onde na impressão 3D, fabricação aditiva, o filamento é aquecido e extrudado através de um bico. A manufatura aditiva tornou-se popular, pois não utiliza métodos tradicionais de injeção, mas sim um processo de baixo custo, capaz de processar diversos polímeros termoplásticos como Nylon,

ABS, PLA, TPE, PEEK, PETG. A Figura 5 mostra os principais materiais utilizados para impressão.

Figura 5: Principais materiais utilizados



Fonte: Autores (2023)

Por ser um material retirado da natureza de origem biológica, obtido do milho, mandioca, arroz, que são recursos renováveis, o PLA é o material mais utilizado na literatura estudada com 21 estudos, o que corresponde a 56,76%. Na tabela 3, modelos, impressoras, software 3D, software de fatiamento.

Tabela 3: Materiais utilizados na fabricação aditiva por modelagem de deposição fundida.

Authors	Printers	Test body	Software	Slicer
(Wang et al., 2020)	Raise3D Pro2 Plus	ISO 527-2-2012	SolidWorks 2014®	ideaMaker v.3.4.2, Raise 3D
(Buj-Corral; Bagheri; Petit-Rojo, 2018)	Extrusora dupla Sigma de BCN3D	Amostras em forma de disco com 6 mm de diâmetro e 3 mm de altura	NE	Software Cura
(Bayraktar et al., 2017)	KASAME	ASTM D638-I	NE	Repetier Host
(Saad et al., 2019)	FRM 3D printer (Tarantula Prusa I3)	ASTM D790 and ISO178	CAD (CATIAV5)	Ultimater Cura 4.0

(Deswal; Narang; Chhabra, 2019)	R*P2200i FDM da Adroitec	Amostras medindo 65 mm de comprimento, 13 mm de largura e 4 mm de espessura	Software CAD	NE
(Hikmat; Rostam; Ahmed, 2021)	DDKUN	ASTM D638-I	SolidWorks	Repetier and slic3r
(Moradi et al., 2020b)	NE	NE	NE	NE
(Moradi; Meiabadi; Kaplan, 2019)	NE	ISO 527-2 and ASTM D638	Solidwork	Simplify 3D
(Zhang et al., 2020)	Ultimaker S3	Os comprimidos foram desenhados no formato de um cilindro (altura, 4,5 mm; e diâmetro, 10 mm)	3D Builder (version 18.0.1931.0, Microsoft Corporation)	CURA Software (version 4.6.2, Ultimaker)
(Moradi et al., 2020a)	Sizan 3	ISO 527-2	Solidworks	Software Simplify3D
(Atakok; Kam; Bukre, 2022)	Ender 3 Pro	ISO 527, ISO 180 and ISO 178	SolidWorks	Simplify3D
(Özen; Auhl; Völlmecke; Kiendl; Abali, 2021)	Ultimaker 3 Extended	ASTM D3039 and ISO 527-2	Downloaded from a Salome 9.3 platform	Ultimaker Cura 4.3.0
(Moradi et al., 2021)	Santam	ASTM-D 638 Type IV	NE	Simplify3D
(Fernando et al., 2019)	Prusa Mendel i3	A cube with a length of 10 mm	Repetier Host V1.6.1	Slic3r
(Schmitt; Mehta; Kim, 2020)	Fortus 380 mc	ASTM D638-14 and D790-02	NE	Insight® 12.0
(Abas et al., 2020)	MakerBot 3D	ASTM D2990	NE	NE
(Lyu et al., 2021)	Ultimaker S5	ASTM D638-14	NE	NE
(Jiang et al., 2022)	NE	ISO-527 e um modelo com medidas de 24x 10x 5,51 mm	NE	NE
(Abas et al., 2022)	XC555 PRO3D	ASTM E23-12c	NE	NE
(Jackson; Fouladi; Eslami, 2022)	Mantis 3D Printer	ASTM D638 e pyramid	AutoDesk Inventor®	NA

(Selvam et al., 2021)	NE	ASTM D638-10 - reforçado com haste de carbono CF	NE	NE
(Moradi et al., 2023)	NE	ISO 527-2	Solidwork	Simplify 3D
(Mohamed et al., 2021)	Spiderbot 4.0	ISO 527 5A22	NE	Ultimaker Cura
(Shahrjerdi; Karamimoghadam; Bodaghi, 2023)	Monster Hercules Máquina 300x	ISO 527-2	Solid Work 2022 SP5	CHITUBOX versão 1.9.4
(Gorgani et al., 2021)	NE	Amostra de formato hexagonal com quatro pares de faces paralelas com ângulos diferentes, a altura das amostras foi de 30 mm, e a distância das faces paralelas foi medida em três alturas diferentes de 10 mm, 20 mm e 30 mm. Cada amostra foi impressa em um retângulo de 100 mm por 150 mm.	NE	software MakerBot Replicator 2X
(Sapre et al., 2022)	Creality Ender 3	ASTM D638; ASTM D256; ASTM D790	Software CATIA	Cura do software Repetier
(Ileana; Ripeanu; Dinit, 2023)	3D Raise E2	Discos planos e cubos. O par de fricção consistia na amostra do disco (raio 15 mm) e um cubo amostra (lado 4 mm) do mesmo material (ABS e PLA)	NE	NE
(Mehmet, 2023)	Zaxe X1	ASTM D638-14	SolidWorks	Zaxe Desktop
(Warke; Puranik, 2023)	NE	ASTM D 638 Tipo 4	NE	NE
(Yeh; Chou; Lin, 2021)	NE	ASTM D2240	Artec Eva	NE
(Jabbar, 2023)	M-100	NE	AutoCAD 2020	Ultimaker Cura

Fonte: Autores (2023)

4. Considerações finais

O estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre manufatura aditiva utilizando modelagem por deposição fundida (FDM), analisando 4 questões de pesquisa para entender a literatura, materiais e software, quais os principais fatores e suas respostas, e métodos de otimização multiobjetivo e modelagem.

Para a primeira questão de pesquisa: Q1: Quais são as características da literatura sobre modelagem por deposição fundida em impressão 3D? Foi realizada uma busca na base de dados WOS, com strings de busca específicas e foram retornados 187 artigos, que utilizaram o método FDM, foram selecionados 31 artigos. A partir desta amostra foi possível identificar um crescimento constante de publicações relacionadas ao tema de 2015 a 2021, sendo 2021 com 44 registros correspondentes a 23,529%, 2022 com 34 registros correspondentes a 18,182%, 2020 com 33 registros correspondentes a 17,647%, 2023 com 29 publicações correspondendo a 15,508%. O ano de 2021 foi o mais pesquisado sobre o tema, entre essa data e 2023 houve redução nas publicações. As principais categorias de publicações, Materiais Multidisciplinares 67 publicações, os dois principais periódicos por número de artigos publicados, Polímeros com 16 publicações, 8,556%, Materiais com 13 publicações, na tabela 2, os principais artigos e fatores de impacto. Em resposta a segunda pergunta de pesquisa Q2, o principal material utilizado foi o PLA com 56,76%.

REFERÊNCIAS

ABAS, Muhammad; HABIB, Tufail; NOOR, Sahar; SALAH, Bashir; ZIMON, Dominik. Parametric Investigation and Optimization to Study the Effect of Process Parameters on the Dimensional Deviation of Fused Deposition Modeling of 3D Printed Parts. **Polymers**, v. 14, n. 17, 2022. DOI: 10.3390/polym14173667.

ABAS, Muhammad; KHAN, Razaullah; GHANI, Usman; UR, Muftooh; SIDDIQI, Rehman. Multi-Response Optimization of Tensile Creep Behavior of PLA 3D Printed Parts Using Categorical Response Surface Methodology. **Polymers**, v. 12, n. 2962, p. 1–16, 2020. DOI: doi:10.3390/polym12122962.

ATAKOK, Gurcan; KAM, Menderes; BUKRE, Hanife. Tensile , three-point bending and impact strength of 3D printed parts using PLA and recycled PLA filaments : A statistical investigation. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 1542–1554, 2022. DOI: 10.1016/j.jmrt.2022.03.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.03.013>.

BARBOSA, F. T. A., PERUCHI, R. S., & JUNIOR, P. R. Central. Central composite designs for optimization of the energy factor in 3D printing Modelos compósitos centrais para otimização do fator de energia na impressão 3D. **Revista de gestão e Secretariado**, v. 14, n. Revista de Gestão e Secretariado, p. 17798–17815, 2023. a. DOI: 10.7769/gesec.v14i10.3000.

BARBOSA, F. T. A., PERUCHI, R. S., & JUNIOR, P. R. Central. Lean , six sigma and sustainability case studies on supply chain management : a systematic literature review Lean , six sigma e estudos de caso de sustentabilidade sobre a gestão da cadeia de fornecimento : uma revisão sistemática da literatura. **Revista de gestão e Secretariado**, v. 14, p. 15509–15536, 2023. b. DOI: <http://doi.org/10.7769/gesec.v14i9>.

BAYRAKTAR, Ömer; UZUN, Gültekin; ÇAKIROĞLU, Ramazan; GULDAS, Abdulmecit. Experimental study on the 3D-printed plastic parts and predicting the mechanical properties using artificial neural networks. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 28, n. 8, p. 1044–1051, 2017. DOI: 10.1002/pat.3960.

BUJ-CORRAL, Irene; BAGHERI, Ali; PETIT-ROJO, Oriol. 3D printing of porous scaffolds with controlled porosity and pore size values. **Materials**, v. 11, n. 9, p. 1–18, 2018. DOI: 10.3390/ma11091532.

DESWAL, Sandeep; NARANG, Rajan; CHHABRA, Deepak. 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. DOI: 10.1007/s12008-019-00536-z.

Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00536-z>.

FERNANDO, Luiz; RICHARD, C. S. Durão; EDUARDO, Barkoczy; LINDA, Zancul; HO, Lee; BONNARD, Renan. Optimizing additive manufacturing parameters for the fused deposition modeling technology using a design of experiments. **Progress in Additive Manufacturing**, v. 4, n. 3, p. 291–313, 2019. DOI: 10.1007/s40964-019-00075-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s40964-019-00075-9>.

GORGANI, Hamid Haghshenas; KORANI, Hossein; JAHEDAN, Reihaneh; SHABANI, Sharif. A Nonlinear Error Compensator for FDM 3D Printed Part Dimensions Using a Hybrid Algorithm Based on GMDH Neural Network. **Journal of Computational Applied Mechanics**, v. 52, n. 3, p. 451–477, 2021. DOI: 10.22059/jcamech.2021.325325.628.

ILEANA, Alexandra; RIPEANU, Razvan George; DINIT, Alin. Optimization of 3D Printing Parameters for Enhanced Surface Quality and Wear Resistance. **Polymers**, v. 3419, n. 15, p. 1–22, 2023.

JABBAR, Mostafa Abbas. A Design of Experiment Analysis Approach to Improve Part Quality in 3D Printing. **Manufacturing Technology**, v. 23, n. 3, p. 290–297, 2023. DOI: 10.21062/mft.2023.034. Disponível em: <https://doi.org/10.21062/mft.2023.034>.

JACKSON, Brandon; FOULADI, Kamran; ESLAMI, Babak. Multi-Parameter Optimization of 3D Printing Condition for Enhanced Quality and Strength. **Polymers**, v. 14, n. 8, 2022. DOI: 10.3390/polym14081586.

JIANG, Cho Pei; CHENG, Yung Chang; LIN, Hong Wei; CHANG, Yu Lee; PASANG, Tim; LEE, Shyh Yuan. Optimization of FDM 3D printing parameters for high strength PEEK using the Taguchi method and experimental validation. **Rapid Prototyping Journal**, v. 28, n. 7, p. 1260–1271, 2022. DOI: 10.1108/RPJ-07-2021-0166.

LIENEKE, Tobias; DENZER, Vera; ADAM, Guido A. O.; ZIMMER, Detmar. Dimensional Tolerances for Additive Manufacturing: Experimental Investigation for Fused Deposition Modeling. **Procedia CIRP**, v. 43, p. 286–291, 2016. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.361. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.361>.

LYU, Yang; ZHAO, Haotian; WEN, Xinlong; SCHLARB, Alois K. Optimization of 3D printing parameters for high- performance biodegradable materials. **Applied Polymer**, n. February, p. 1–13, 2021. DOI: 10.1002/app.50782.

MEHMET, Masum. An Investigation of 3D Printing Parameters on Tensile Strength of PLA Using Response Surface Method. **JMEPEG**, n. Ref 23, p. 1–10, 2023. DOI: 10.1007/s11665-023-08395-2.

MOHAMED, Timoumi; BARHOUMI, Najoua; LAMNAWAR, Khalid; MAAZOUZ, Abderrahim; ZNAIDI, Amna. Optimization of fused deposition modeling process parameters using the Taguchi method to improve the tensile properties of 3D-printed polyether ether ketone. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications**, v. 235, n. 11, p. 2565–2573, 2021. DOI: 10.1177/14644207211017572.

MORADI, Mahmoud; AMINZADEH, Ahmad; RAHMATABADI, Davood; RASOULI, Seyed Alireza. Statistical and Experimental Analysis of Process Parameters of 3D Nylon Printed Parts by Fused Deposition Modeling : Response Surface Modeling and Optimization. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 30, n. 7, p. 5441–5454, 2021. DOI: 10.1007/s11665-021-05848-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-05848-4>.

MORADI, Mahmoud; BEYGI, Reza; MOHD. YUSOF, Noordin; AMIRI, Ali; DA SILVA, L. F. M.; SHARIF, Safian. 3D Printing of Acrylonitrile Butadiene Styrene by Fused Deposition Modeling: Artificial Neural Network and Response Surface Method Analyses. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 32, n. 4, p. 2016–2028, 2023. DOI: 10.1007/s11665-022-07250-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07250-0>.

MORADI, Mahmoud; MEIABADI, Saleh; KAPLAN, Alexander. 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. DOI: 10.1007/s12540-019-00272-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00272-9>.

MORADI, Mahmoud; MOGHADAM, Mojtaba Karami; SHAMSBORHAN, Mahmoud; BODAGHI, Mahdi. The synergic effects of fdm 3d printing parameters on mechanical behaviors of bronze poly lactic acid composites. **Journal of Composites Science**, v. 4, n. 1, p. 1–16, 2020. a. DOI: 10.3390/jcs4010017.

MORADI, Mahmoud; MOGHADAM, Mojtaba Karami; SHAMSBORHAN, Mahmoud; BODAGHI, Mahdi; FALAVANDI, Hamid. Post-Processing of FDM 3D-Printed Polylactic Acid Parts by Laser Beam Cutting. **Polymers**, v. 520, n. 12, p. 1–18, 2020. b. DOI: doi:10.3390/polym12030550.

ÖZEN, A., AUHL, D., VÖLLMECKE, C., KIENDL, J., & ABALI, B. E. Optimization of Manufacturing Parameters and Tensile. **Materials**, v. 14, p. 1–19, 2021.

PADHI, Saroj Kumar; KUMAR, Ranjeet; SOOD, Anoop Kumar. Optimization of fused deposition modeling process parameters using a fuzzy inference system coupled with Taguchi philosophy. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 3, p. 231–242, 2017. DOI: 10.1007/s40436-017-0187-4.

PENG, Anhua; XIAO, Xingming; YUE, Rui. 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. DOI: 10.1007/s00170-014-5796-5.

REDDY, Vijeth; FLYS, Olena; CHAPARALA, Anish; BERRIMI, Chihab E.; AMOGH, V.; ROSEN, B. G. Study on surface texture of Fused Deposition Modeling. **Procedia Manufacturing**, v. 25, p. 389–396, 2018. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.06.108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.108>.

SAAD, Mohd Sazli; NOR, Azuwir Mohd; BAHARUDIN, Mohamad Ezral; ZAKARIA, Mohd Zakimi; AIMAN, A. F. 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. DOI: 10.1007/s00170-019-04568-3.

SAPRE, Mandar S.; JATTI, Ashwini V; KHEDKAR, Nitin K.; JATTI, Vinaykumar S. Mechanical Properties of 3D-Printed Components Using Fused Deposition Modeling : Optimization Using the Desirability Approach and Machine Learning Regressor. **Applied System Innovation**, v. 112, n. 5, p. 1–15, 2022.

SARVESTANI, H. Yazdani; AKBARZADEH, A. H.; NIKNAM, H.; HERMENEAN, K. 3D printed architected polymeric sandwich panels : Energy absorption and structural performance. **Composite Structures**, v. 200, n. March, p. 886–909, 2018. DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.04.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.002>.

SCHMITT, Matt; MEHTA, Raj Mattias; KIM, Il Yong. Additive manufacturing in fi ll optimization for automotive 3D-printed ABS components. **Rapid Prototyping Journal**, v. 1, n. July 2019, p. 89–99, 2020. DOI: 10.1108/RPJ-01-2019-0007.

SELVAM, Arivazhagan; MAYILSWAMY, Suresh; WHENISH, Ruban; VELU, Rajkumar; SUBRAMANIAN, Bharath. Preparation and evaluation of the tensile characteristics of carbon fiber rod reinforced 3d printed thermoplastic composites. **Journal of Composites Science**, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2021. DOI: 10.3390/jcs5010008.

SHAHRJERDI, Ali; KARAMIMOGHADAM, Mojtaba; BODAGHI, Mahdi. Enhancing Mechanical Properties of 3D-Printed PLAs via Optimization Process and Statistical Modeling. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 4, p. 1–13, 2023. DOI: 10.3390/jcs7040151.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.

WANG, Shuheng; MA, Yongbin; DENG, Zichen; ZHANG, Sen; CAI, Jiaxin. Effects of fused deposition modeling process parameters on tensile, dynamic mechanical properties of 3D printed polylactic acid materials. **Polymer Testing**, v. 86, n. January, p. 106483, 2020. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106483. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106483>.

WASTI, Sanjita; ADHIKARI, Sushil. Use of Biomaterials for 3D Printing by Fused Deposition Modeling Technique: A Review. **Frontiers in Chemistry**, v. 8, n. May, p. 1–14, 2020. DOI: 10.3389/fchem.2020.00315.

YEH, Chia Hung; CHOU, Chia Man; LIN, Chien Pang. Design of experiment for optimization of 3D printing parameters of base plate structures in colostomy bag for newborns. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 38, n. 7, p. 523–535, 2021. DOI: 10.1080/21681015.2021.1944340. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1944340>.

ZEPENG, Lv. Stories From China. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, v. 39, n. 1, p. 42–43, 2023. DOI: 10.1109/MEI.2023.9999613.



XII SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

“A contribuição da Engenharia de Produção para alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.”

Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 24 a 26 de Maio de 2024.

ZHANG, Jiaxiang; THAKKAR, Rishi; ZHANG, Yu; MANIRUZZAMAN, Mohammed. Structure-function correlation and personalized 3D printed tablets using a quality by design (QbD) approach. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 590, n. September, p. 119945, 2020. DOI: 10.1016/j.ijpharm.2020.119945. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119945>.