

Manufatura aditiva de metal: desafios e oportunidade na implementação

Metal additive manufacturing: challenges and opportunity in implementation

ANDERSON FERREIRA DE LIMA

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

GILBERTO GOMES SOARES JÚNIOR

UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

FABIO HENRIQUE PEREIRA

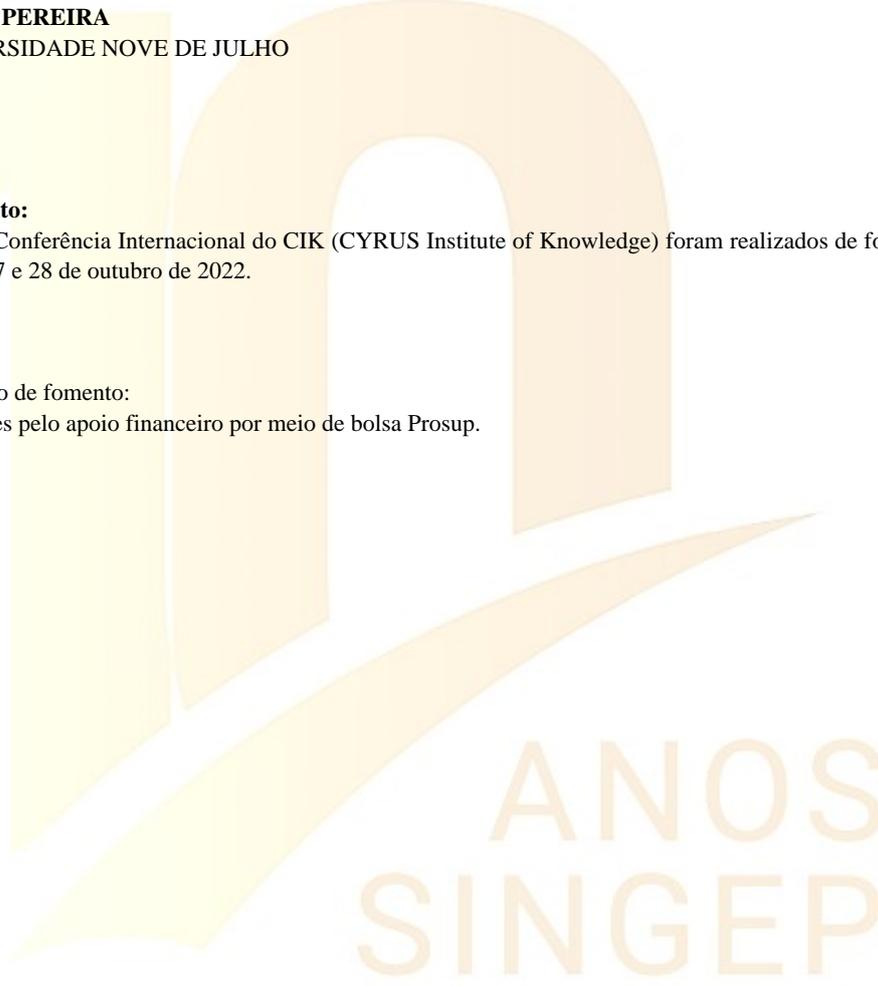
UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Nota de esclarecimento:

O X SINGEP e a 10ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias 26, 27 e 28 de outubro de 2022.

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradecimento à Capes pelo apoio financeiro por meio de bolsa Prosup.



ANOS
SINGEP

Manufatura aditiva de metal: desafios e oportunidade na implementação

Objetivo do estudo

Este estudo investiga quais são os principais autores e os cluster de pesquisa, bem como os modelos de implementação da manufatura aditiva de metal, que afetam o desempenho da implementação na indústria de manufatura

Relevância/originalidade

Estudos sobre implementação da manufatura aditiva de metal na indústria de manufatura são escassos.

Metodologia/abordagem

Diferentes metodologias de pesquisa são utilizadas neste estudo, como a bibliometria e a revisão sistemática da literatura.

Principais resultados

Os resultados permitiram fornecer orientação para identificação dos modelos e critérios envolvidos e a oportunidade das empresas se avaliarem se estão preparadas para a implementação da manufatura aditiva de metal.

Contribuições teóricas/metodológicas

As contribuições teóricas e práticas deste estudo permitiram a identificação dos principais autores e cluster de pesquisa dos diferentes aspectos da implementação da manufatura aditiva de metal e a proposição de um modelo conceitual para organizar a coleta de dados de implementação

Contribuições sociais/para a gestão

Como contribuição a gestão destaca-se a identificação dos modelos de implementação existentes e dos demais estudos sobre outros desafios e oportunidades, bem como a proposição de um modelo conceitual que pode complementar os modelos atuais de implementação

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Implementação, Desafios, Oportunidades, Modelos

Metal additive manufacturing: challenges and opportunity in implementation

Study purpose

This study investigates which are the main authors and research clusters, as well as the implementation models of metal additive manufacturing, which affect implementation performance in the manufacturing industry.

Relevance / originality

Studies on the implementation of metal additive manufacturing in the manufacturing industry are scarce.

Methodology / approach

Different research methodologies are used in this study, such as bibliometrics and systematic literature review.

Main results

The results provided guidance for identifying the models and criteria involved and the opportunity for companies to assess whether they are prepared for the implementation of metal additive manufacturing.

Theoretical / methodological contributions

The theoretical and practical contributions of this study allowed the identification of the main authors and research cluster of the different aspects of the implementation of metal additive manufacturing and the proposition of a conceptual model to organize the collection of implementation.

Social / management contributions

As a contribution to management, we highlight the identification of existing implementation models and other studies on other challenges and opportunities, as well as the proposition of a conceptual model that can complement the current implementation models.

Keywords: Additive Manufacturing, Implementation, Challenges, Opportunities, Models

1 Introdução

Os danos causados pela grande recessão de 2007-2009 fizeram com que empresas de manufatura escolhessem terceirizar sua produção em busca de mão de obra e de recursos de baixo custo, que resultou na fragmentação da cadeia de suprimentos e em controles ineficazes, que levaram as empresas a perderem competitividade (Schieberl & Nickles, 2014). Dessa forma se percebeu a necessidade para criar uma integração tecnológica associada à automação para reduzir as empresas da dependência da produção terceirizada e da cadeia de suprimento fragmentada (Bals, Kirchoff & FoerstL, 2016). Então a Indústria 4.0 veio alterar o equilíbrio entre internalização e terceirização a favor da internalização da produção. (Alcácer & Cruz-Machado, 2019; Iqbal *et al.*, 2020).

Nos dias de hoje, com o relevante crescimento dos obstáculos econômicos, as empresas de manufatura percebem cada vez mais a importância de aperfeiçoar seus processos para que permitam uma rápida adaptação, a começar da inovação até produção e distribuição (Gligor & Holcomb, 2012). Dado a concorrência acirrada do momento atual, a chave para o sucesso é a capacidade de ajustar a flexibilidade de produtos feitos sob medida com a taxa de produção, e o custo unitário, através do emprego de tecnologias de fabricação avançadas (Iqbal *et al.*, 2020).

A manufatura aditiva de metal envolve técnicas de fabricação que adicionam material para produzir os componentes, normalmente camada por camada, e um número crescente de estudos demonstrou algumas vantagens importantes da manufatura aditiva em muitos setores industriais, como a produção de pequenas dimensões, pequenos volumes, custo significativo, reduções de tempo, novos materiais de fabricação, soluções de design exclusivas, redução de massa de componentes por meio de designs altamente eficientes, consolidação de componentes para desempenho aprimorado ou gerenciamento de risco, e eliminação dos processos tradicionais de união (Blakey-Milner *et al.*, 2021; Ruffo, Tuck & Hague, 2007). O progresso técnico da produção através da manufatura aditiva resultou no desenvolvimento de novas abordagens no design e desenvolvimento de produtos, planejamento de produção e otimização, design da cadeia de suprimentos e estratégia de operações (Khorram, Niaki & Nonino, 2016).

No entanto a transição de um modelo de negócios baseado em métodos tradicionais de usinagem, manufatura subtrativa, para um modelo de negócio baseado na manufatura aditiva tem que levar em conta diversos fatores. Dentre estes destacam-se o custo de fabricação, o custo de tempo de fabricação, o custo do processo, e o custo de investimento. A avaliação do modelo de negócios da empresa é determinante para o sucesso da implementação da manufatura aditiva, visto que atualmente a AM favorece pequenos lotes de produção em que o custo mais alto da matérias-primas específicas para manufatura aditiva é compensado por uma redução de custos fixos associados a fabricação. Além disso, pode-se agregar o valor da velocidade, versatilidade e adaptabilidade da manufatura aditiva ao produto., pois permite a fabricação imediata e customizada (Frazier, 2014).

Em virtude das vantagens que a manufatura aditiva de metal traz para a manufatura, essa tecnologia inovadora atrai a atenção de vários estudiosos de estratégia de negócios e gerenciamento de tecnologia. Este estudo investiga quais são os principais autores e os cluster de pesquisa, bem como os modelos de implementação da manufatura aditiva de metal, que afetam o desempenho da implementação na indústria de manufatura, por meio do uso de diferentes metodologias de pesquisa, como a bibliometria e a revisão da literatura. Com base nessas observações, um modelo conceitual é proposto onde desafios e oportunidades potenciais são destacados para implementação da manufatura aditiva de metal. Espera-se que este estudo forneça orientação para identificação dos modelos e critérios envolvidos e forneça a oportunidade das empresas se avaliarem se estão preparadas para a implementação da manufatura aditiva de metal.

2 Referencial teórico

No final da década de 1980, uma nova tecnologia de fabricação foi desenvolvida, baseada na adição de materiais, conhecida atualmente como manufatura aditiva ou impressão 3d, até então os principais princípios de fabricação eram baseados em moldagem (fundição e injeção em moldes); remoção (torneamento, fresamento, usinagem química; conformação (laminação, extrusão, estampagem); divisão (serragem, corte); união (soldagem, colagem) (Volpato & Carvalho, 2017).

A AM é uma tecnologia diferente da manufatura tradicional ou manufatura subtrativa, que ao invés de se remover material para se produzir uma peça, na AM se deposita material "camada por camada". AM é versátil, flexível, personalizável e, como tal, permite uma liberdade sem precedentes na fabricação de estruturas complexas, compostas e híbridas com precisão e controle que não podem ser feitos através dos meios tradicionais (Ilg, Oehler & Lucke, 2019).

O processo de produção por meio da AM, é feito através de uma representação geométrica computacional 3D de um produto, e por intermédio do fatiamento eletrônico obtém-se as curvas de nível 2D que irão definir onde será ou não depositado material de modo que a produção do produto se dá pelo empilhamento e adesão sequencial de camadas partindo da base até o topo (Volpato & Carvalho., 2017). A manufatura aditiva habilita a fabricação de geometrias e estruturas que anteriormente eram impossíveis de se conseguir por meio das técnicas convencionais de fabricação (Iqbal *et al.*, 2020).

Em meados dos anos 1990, a tecnologia de manufatura aditiva era basicamente usada apenas com a finalidade de produzir protótipos funcionais ou estéticos, mas com os avanços nos quesitos de precisão, variedade de matéria prima e taxas de construção mais rápidas, a manufatura aditiva evoluiu para uma tecnologia de produção em escala real, trazendo benefícios como livre manuseio da geometria do produto, maior nível de personalização do produto, criação de estruturas leves, cadeias de suprimentos integradas, além de não haver a necessidade de ferramental específico para cada produto (Attaran, 2017).

2.2 Manufatura aditiva de Metal

A tecnologia AM de metal pode ser classificada em termos de alimentação de material, fonte de energia (feixe de elétrons, laser, arco etc.), volume de construção e são divididos em três categorias amplas: sistemas de leito de pó, sistemas de alimentação de pó e sistemas de alimentação de arame. A figura 1 apresenta um diagrama de um sistema de leito de pó metálico, onde a fonte de energia (feixe de elétrons ou laser) fornece energia para a superfície do leito, fundindo ou sinterizando o pó conforme programado e a operação é repedida espalhando-se pó adicional pela área de trabalho para criar um componente sólido tridimensional, onde as vantagens deste processo abrangem sua capacidade de produzir componentes de alta resolução, com passagens internas e manter um bom controle dimensional (Frazier, 2014).

Em contraste com o sistema de leito de pó metálico, o sistema de alimentação é realizado através da entrega simultânea de pó metálico (ou fio) e energia laser focada (Nima, Yadollahi, Bian & Thompson, 2015). Neste processo, os pós ou fio são conduzidos por meio de um bico para a superfície do componente e um laser é usado para fundir uma camada do pó na forma programada e as principais vantagens deste tipo de processo incluem maior volume e capacidade de ser usado para recondicionar componentes desgastados ou danificados, conforme apresentado na figura 2 (Frazier, 2014; Jyoti & Lijun, 2013).

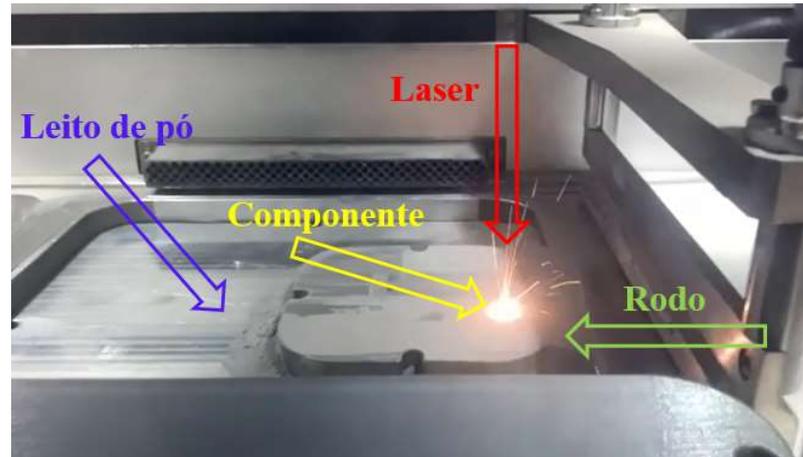


Figura 1. Sistema de leito de pó metálico
 Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2 Modelos de implementação

Dentre os principais modelos identificados na literatura, Rahim e Maidin (2014) apresentam um *framework* para auxiliar as empresas na escolha de implementar ou não a tecnologia de manufatura aditiva e ressalta que o aspecto mais importante a ser considerado é o custo do investimento. O *framework* demonstra que os principais fatores que impactam as tomadas de decisão quanto a implementações da manufatura aditiva são: financeiros, tecnológicos, organizacional e prática de projeto, conforme apresentado na figura 2.

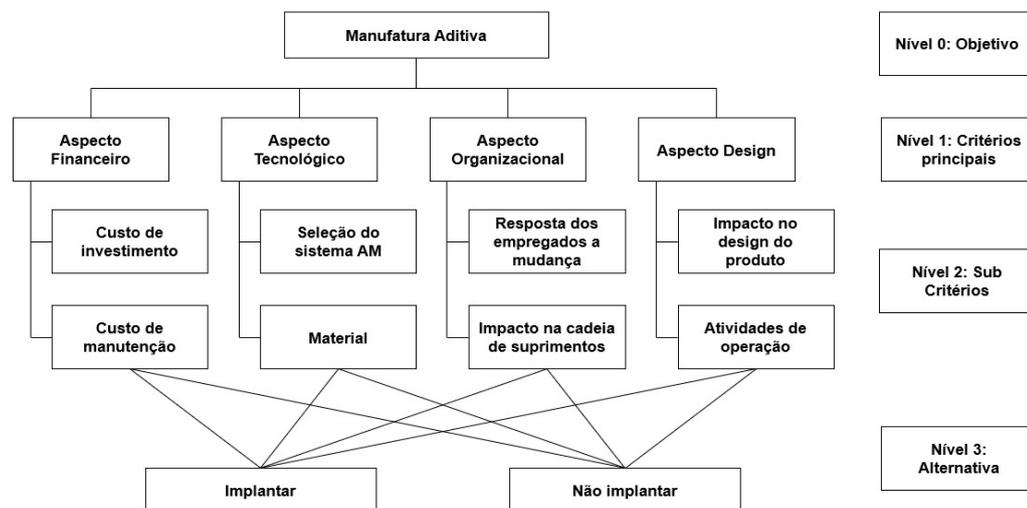


Figura 2. Fatores que impactam a tomada de decisões de implementação
 Fonte: Rahim e Maidin (2014).

Deradjat e Minshall (2015) apresentam os desafios que influenciam a implementação da AM especificamente para o caso de customização em massa. O estudo categoriza os aspectos de seu *framework* em tecnológico, operacional, organizacional e fatores interno e externos, de forma que enfatiza as considerações técnicas da implementação da AM semelhante ao modelo de Mellor, Hao e Zhang (2014), porém não contempla um estágio de implementação especificamente, como apresentado no modelo de Voss (1988) que construiu sua definição de implementação de tecnologia através do modelo de ciclo de vida em termos de 3 estágios

sequenciais: pré-instalação, instalação e comissionamento, e pós instalação, conforme apresentado na figura 3.



Figura 3. Ciclo de vida do processo de implementação
Fonte: Voss (1988).

Busachi *et al.* (2017) apresentam uma abordagem da implementação da manufatura aditiva específica para o setor de defesa em 8 fases. As fases 1 a 3 tratam de questões específicas do setor de defesa como: missão, alvo etc. A fase 4 consiste em análise e classificação dos componentes para identificar qual é crítico, a fase seguinte seleciona a tecnologia e a fase 6 trata do projeto específico para AM. A fase 7 define as configurações de fabricação e por fim, a fase 8 trata da simulação dinâmica (Busachi *et al.*, 2017).

Achin, Johannes e Sebastian (2019) apresentam uma estrutura para implementação da AM com foco nas etapas do processo, com o objetivo de acompanhar o processo de implementação. Para cada etapa, foi desenvolvida uma ferramenta para tornar o conhecimento técnico acessível ao usuário. Na etapa 1 são recolhidas as informações relevantes para seleção do processo de fabricação AM, a etapa seguinte pré-seleciona-se o processo de fabricação AM. As etapas seguintes analisam o conceito de fabricação, projeto e otimização e na última etapa o equipamento estaria pronto para produção (Achin, Johannes & Sebastian, 2019). Apesar de limitações de aplicação mencionadas por Achin, Johannes e Sebastian (2019), o modelo apresenta uma leitura vertical da estrutura de implementação da AM que facilita o entendimento dos requisitos necessários, conforme figura 5.

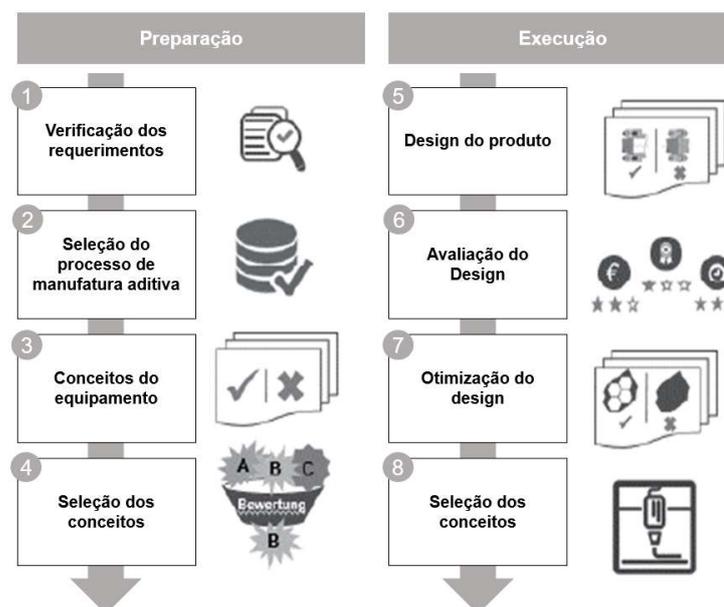


Figura 5. Passos para implementação da manufatura aditiva
Fonte: Achin, Johannes e Sebastian (2019).

3 Metodologia

Para identificar as estruturas de implementação da manufatura aditiva, foi realizado a revisão sistemática da literatura utilizando-se princípios da metodologia PRISMA (Preferred Reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analyses - Itens de relatório preferidos para revisões sistemáticas e meta-análises) que estipula um conjunto mínimo de itens com base em evidências para relatar em revisões sistemáticas e meta-análises com o objetivo de ajudar os autores a melhorar o relato de revisões sistemáticas e meta-análises. Ao processo de revisão sistemática foi mesclado bibliometria com análise de conteúdos e análise de redes. Esta análise usa o R como software estatístico no pacote Bibliometrix que implementa a metodologia de análise de mapeamento científico (Arria & Cunculo, 2017; Moher, Liberati, Tetzlaff, & Altman, 2010; Liberati *et al.*, 2009)

Com o propósito de se selecionar artigos que apresentassem estruturas de implementação, foram consideradas palavras-chaves e termos de pesquisa mais comumente relacionados com manufatura aditiva junto com os termos *framework* e *implementation* para identificar a literatura relevante, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1:
Protocolo de revisão da literatura

Objetivo	Identificar artigos que abordem estruturas de implementação da AM
Termos de pesquisa	“Additive manufacturing” AND “framework” AND “implementation” “3D printing” AND “framework” AND “implementation” “Rapid prototyping” AND “framework” AND “implementation” “Rapid manufacturing” AND “framework” AND “implementation”
Bases de dados	Scopus, Web of Science, Compendex, SAGE e Ebsco
Tipos de publicação	Artigos publicados em periódicos e congressos
Idioma	Inglês
Período	A pesquisa não se limitou a um período
Crítérios de inclusão	Artigos sobre estrutura de implementação e manufatura aditiva de metais
Crítérios de exclusão	Artigos que não apresentavam nenhuma das palavras chaves no resumo; artigos que não tratavam da manufatura aditiva de metais; artigos que tratavam exclusivamente da implantação cirúrgica de próteses e implantes

Fonte: Elaborado pelo autor.

A busca resultou em 1662 artigos até o início de dezembro de 2022 que tratavam sobre o tema manufatura aditiva e seus cognatos combinados individualmente com os termos de *framework* e *implementation*. Após uma revisão dos títulos, foram identificados 363 artigos repetidos entre as bases pesquisadas e foram descartados e 1085 artigos por não serem aderentes ao escopo desta pesquisa, resultando assim em 214 artigos. Após a leitura do resumo, foram selecionados 64 artigos que tratavam especificamente sobre algum aspecto da implementação da manufatura aditiva e após a uma leitura profunda destes artigos, foram identificados 23 artigos que tratam de algum aspecto sobre a implementação da manufatura aditiva, conforme apresentado na figura 6.

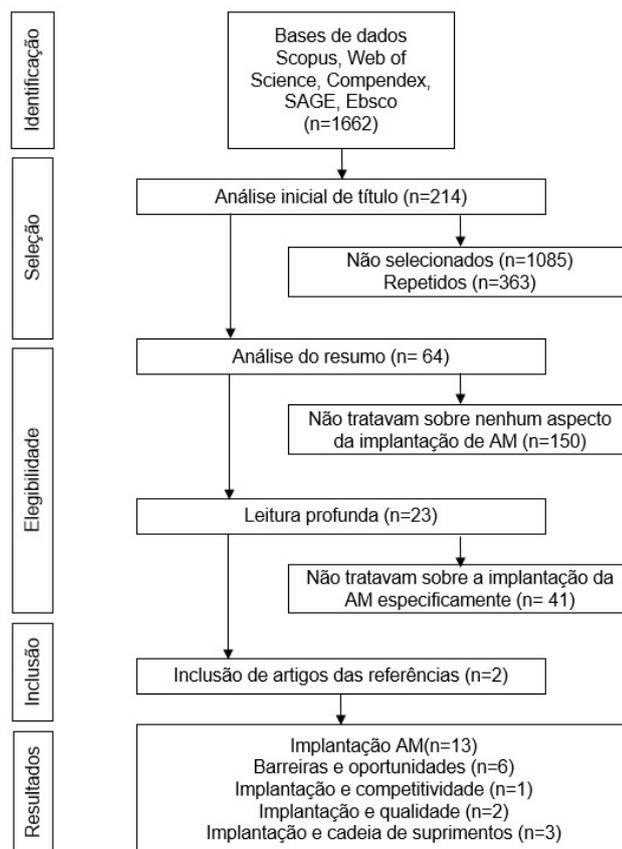


Figura 6. Fluxograma do protocolo de revisão da literatura

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além de analisar os resultados obtidos com a consulta de pesquisa, também foram verificadas as referências dos artigos selecionados para incluir os que não foram capturados pela consulta. Desta forma, foram encontrados mais 2 artigos adicionais que se mostram aplicáveis ao escopo deste artigo, resultando em um total de 25 artigos. Estes dados indicam a carência de pesquisa na área, um *gap* de pesquisa.

Depois de se analisar as bases de dados consolidadas, o processo de mapeamento do fluxo de trabalho científico foi continuado a fim de se analisar de forma bibliométrica os dados, onde foram utilizadas as bases Scopus e Web of Science, pois permitem que os dados sejam exportados diretamente no formato bibliográfico padrão BibTeX, no entanto cada base de dados inclui campos diferentes e em ordem diferente. A fim de se manter a consistência dos dados, os arquivos foram combinados e então convertidos em um único arquivo que foi então processado pelo software estatístico R.

5 Resultados

O mapeamento do fluxo de trabalho científico resultou em um portfólio de artigos que abrange um intervalo de tempo entre 1984 até 2022 de 469 diferentes fontes como revistas e congressos totalizando 635 artigos que representam uma média de 8,76 artigos publicados por ano com uma média de 13,8 citações por artigo. Os artigos deste portfólio se dividem em 273 artigos publicados em revistas, 342 artigos apresentados em congresso e 19 artigos de revisão, dentre estes, 44 artigos tiveram apenas 1 autor e o restante apresentou uma média de 3,4 autores por artigo. A produção científica teve uma taxa de crescimento anual de 10.47% no número de publicações. Num período inicial, entre 1984 e 2012, poucos artigos foram publicados por ano sobre o tema e a maioria das publicações foram feitas entre o período de 2012 a 2022.

Notavelmente, o número de publicações atingiu o pico de 82 artigos publicados em 2021. A partir de 2013, há um novo aumento nos artigos alinhado com o tema deste estudo, levando em consideração que os dados foram coletados até o final de março de 2022, conforme Figura 2.

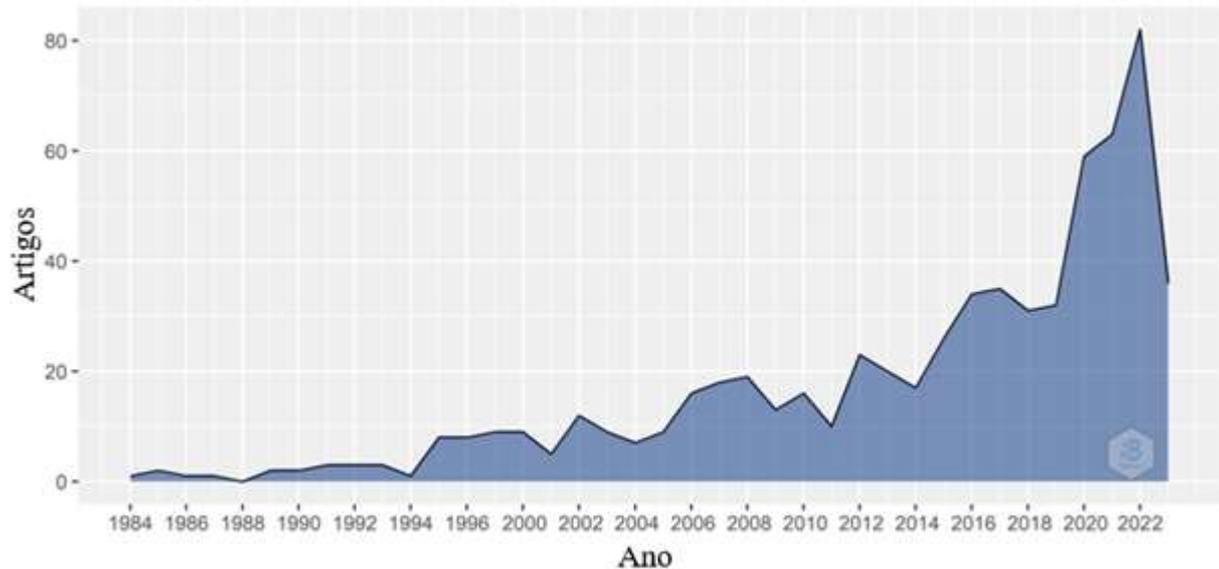


Figura 7. Produção científica anual
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos 20 principais autores demonstra a internacionalidade dos artigos do estudo conforme apresentado na figura 8. O grupo dos principais autores representam 11 países e 7 universidades cujo autores estão afiliados, ou seja, a instituição onde os autores publicam mais no portfólio de artigos deste estudo. A análise indica uma predominância de autores dos Estados Unidos relacionados com o tema, 178 publicações. Apesar de não aparecer entre os 20 principais autores, o Brasil possui 9 publicações sobre o tema.

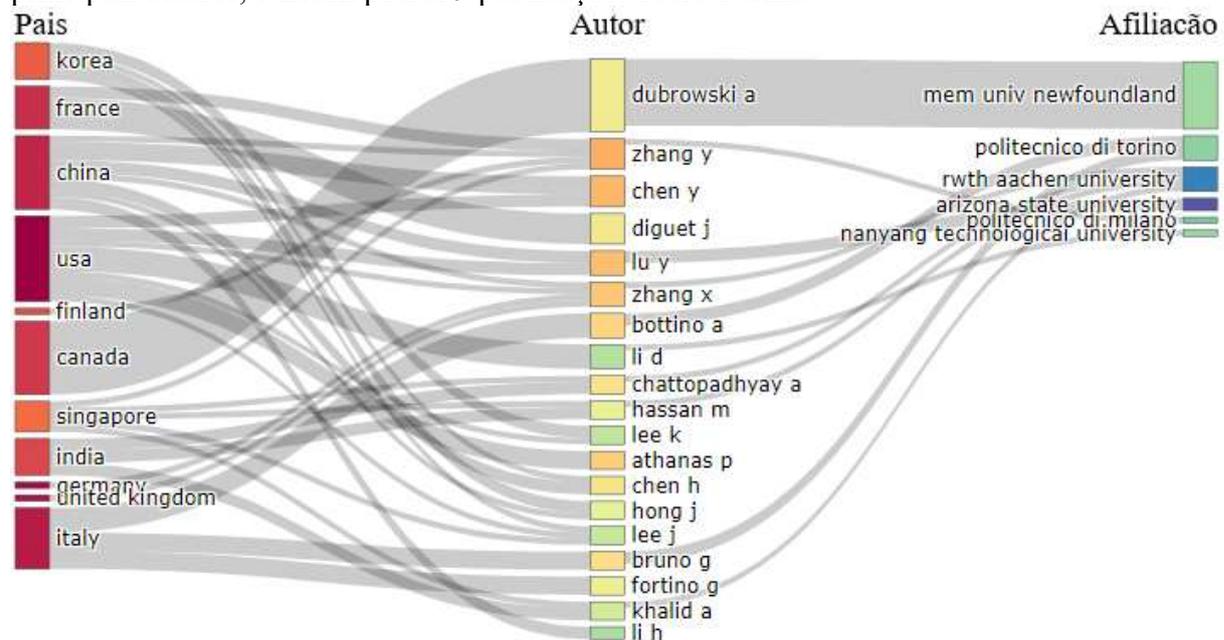


Figura 8. Análise de intencionalidade e afiliação
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Para identificação dos principais autores deste portfólio de artigos aplicou-se a lei de Lotka, onde define que a frequência de publicações em qualquer área de pesquisa, seguirá uma distribuição definida. A lei de Lotka indica que o número de autores é inversamente proporcional ao quadrado do número total de publicações e diretamente proporcional a X_1 o número de trabalhos publicados por um único autor, ou seja, conforme o número de artigos publicados aumenta, os autores que produzem essas publicações tornam-se menos frequentes, essa lei é expressa pela equação abaixo (Lotka, 1926; Egghe, 2005).

$$X_n = \frac{X_1}{n^2} \quad (1)$$

Este estudo identificou 2160 autores no portfólio de artigos, dos quais 1980 autores, ou 91,7% contribuíram com apenas um artigo sobre o tema, 6,7% dos autores contribuíram com 2 artigos e apenas 1,5% dos autores contribuíram com 3 artigos. Dos 180 autores que publicaram mais de um artigo sobre o tema, apenas 1 publicou 5 artigos, conforme apresentado na figura 8.

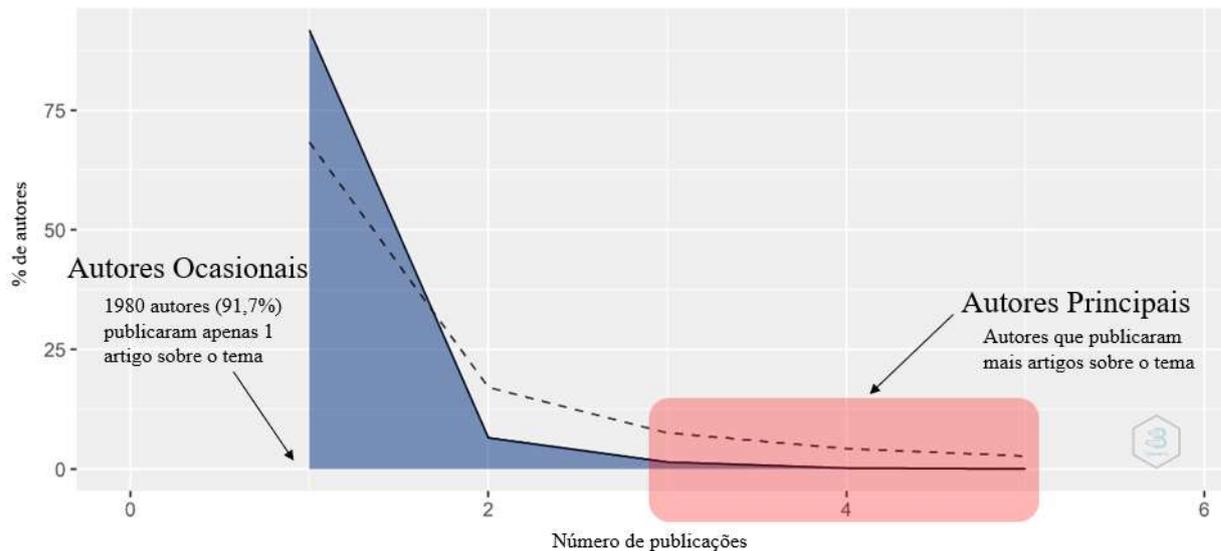


Figura 8. Frequência de distribuição da produtividade científica

Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, a partir da análise dos artigos, foi realizado uma análise das terminologias comuns utilizadas. A identificação das palavras-chave é fundamental para um estudo aprofundado, exploração do conteúdo e da variedade de tópicos abrangidos nos artigos (Garfield & Sher, 1993). Entre as palavras mais citadas nos artigos, 6 palavras foram citadas mais de dez vezes, dentre elas o termo impressão 3D foi citado 38 vezes e manufatura aditiva 86 vezes. A ocorrência de palavras no mapa de redes apresenta um cluster principal de manufatura aditiva e suas interligações com o cluster de indústria 4.0 e sustentabilidade, em contra partida o cluster prototipagem rápida não possui interligação com o cluster de manufatura aditiva, indicando assim que o termo prototipagem rápida não é comumente empregado a manufatura aditiva ou impressão 3D, conforme apresentado na figura 8.

A implementação de tecnologia avançada de produção é um processo de adaptação, pois nem sempre a tecnologia é adequada para a indústria (Leonard-Barton, 1988). E o sucesso da implementação inclui a familiaridade da nova tecnologia na indústria e da indústria na nova tecnologia (Frohlich, 1998). Desde o advento dessa tecnologia de produção na década de 1980, muitas pesquisas foram feitas sobre seu uso (Frohlich, 1998). E estudos como o de Gerwin (1988) acrescenta a importância dos fornecedores e da infraestrutura técnica como meio de reduzir a incerteza no processo de implementação,

Beatty (1992) esboça as regras básicas que devem ser utilizadas, primeiro pela construção de uma equipe de projeto, segundo pela coordenação do planejamento técnico e, finalmente, pela criação de uma equipe de trabalho conjunta e comitês de direção. Tyre e Hauptman (1992) indicaram que desenvolver as habilidades técnicas dos funcionários e sistemas de suporte antes de implementar uma nova máquina é essencial para uma implementação bem-sucedida.

Em resumo, foram identificados 13 artigos que apresentavam alguma estrutura ou modelo específicos de como implementar a manufatura aditiva, e estes se complementam entre si, além de revelar muitos critérios importantes e especificar o processo de implementação. A revisão sistemática também identificou 6 artigos que apresentavam barreiras e oportunidades que poderiam impactar a implementação, 1 artigo que apresentava o aspecto competitividade das empresas que estão utilizando a tecnologia de manufatura aditiva, 2 artigos focavam em qualidade dos produtos impressos e seus impactos nas empresas que implementaram a AM e 3 artigos que focavam no aspecto de cadeia de suprimentos. Como contribuição, um modelo conceitual de análise é proposto neste trabalho para englobar os 5 aspectos de artigos identificados na literatura, que tem o objetivo de guiar a coleta de informações e auxiliar a análise de implementação, conforme apresentado na figura 9.

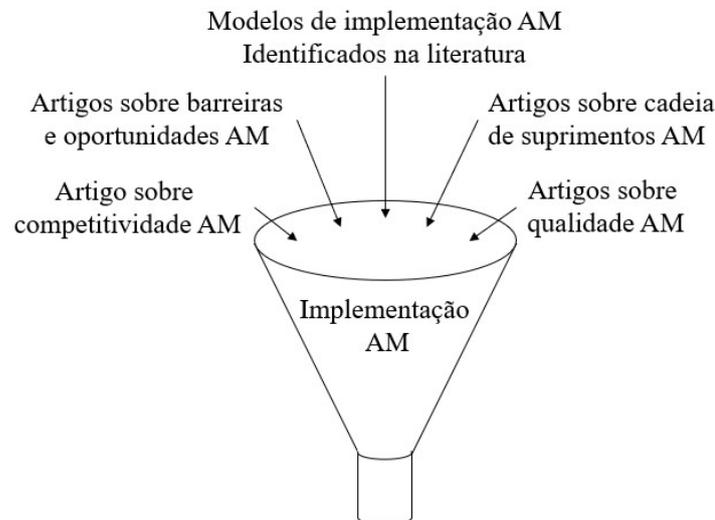


Figura 9. Modelo conceitual de análise

Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo o modelo, as variáveis são agrupadas para organizar a coleta de dados com o objetivo de analisar possíveis aspectos da implementação e identificar pontos que podem impedir as empresas de adotarem a manufatura aditiva de metal.

Artigos sobre cadeia de suprimentos – Consideram os aspectos de logística e distribuição, relação com clientes, fornecedores de materiais, e aspectos que impactam diretamente e indiretamente na implementação.

Artigos sobre barreiras e oportunidades – consideram as dificuldades e impulsionadores na implementação da manufatura aditiva como aquisição de softwares, matéria-prima, manutenção e maturidade da tecnologia.

Artigos sobre qualidade – Consideram os aspectos de qualidade dos componentes impressos através da manufatura aditiva de metal.

Artigo sobre competitividade – Considera o aspecto de competitividade das empresas que implementaram a tecnologia de manufatura aditiva de metal.

5 Conclusão

A significativa quantidade de trabalho de pesquisa realizado no campo de manufatura aditiva e implementação apontam que tem havido um crescimento exponencial de interesse sobre o tema, como apresentado na seção que identifica a evolução das publicações. O número de publicações identificadas sugere que nos próximos anos continuará a crescer. A identificação dos principais autores oferece uma revisão histórica cronológica que contribuem com conhecimento científico na implementação de novas tecnologias. As considerações e desafios identificados nos artigos trazem contribuições a teoria e a prática na área de engenharia de produção, e na gestão da tecnologia e inovação, gerando conhecimento e benefícios as empresas por seguirem modelos para implementação devido as dificuldades e desafios que surgem com a implementação de novas tecnologias.

Como contribuição teórica destaca-se a identificação dos principais autores e cluster de pesquisa dos diferentes aspectos da implementação da manufatura. Contribuições práticas, destaca-se a proposição de um modelo conceitual para organizar a coleta de dados de implementação, conforme apresentado na figura 9, para análise dos critérios de implementação.

O estudo aqui desenvolvido tem algumas limitações, tais como se restringir as bases de dados Scopus, Web of Science, Compendex, SAGE e Ebsco. No futuro, mais pesquisas sobre manufatura aditiva serão exigidas, trabalhos futuros podem incluir um estudo semelhante sobre riscos relacionados a implementação da manufatura aditiva. Por fim, este trabalho é de grande interesse para acadêmicos e profissionais, servindo como base para construção de modelos de implementação específicos para as diversas áreas de aplicação da manufatura aditiva.

6 Referências

- Achin, K., Johannes, T., & Sebastian, K. (2019) A framework for implementation of 3D-printing of manufacturing equipment. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing*, 53-56.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017) Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis, *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975.
- Attaran, M. (2017) The rise of 3-D printing: the advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688.
- Beatty, C. A. (1992) Implementing advanced manufacturing technologies: rules of the road. *Sloan Management Review*, 33, 49-56.
- Blakey-Milner, B., Gradl, P., Snedden, G., Brooks, M., Pitot, J., Lopez, E., Leary, M., Berto, F., & du Plessis, A. (2021) Metal additive manufacturing in aerospace: A review, *Materials & Design*, 209.
- Bradford, S. C. (1976) Classic Paper: Sources of information on specific subjects," *Collection Manage.*, 1(3-4), 95-104.
- Busachi, A., Erkoyuncu, J., Colegrove, P., Drake, R., Watts, C., & Wilding, S. (2017) Additive manufacturing applications in defence support services: current practices and framework for implementation. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9, 657-674.

- Deradjat, D., & Minshall, T. (2015) Implementation of additive manufacturing technologies for mass customisation. *International Association for Management of Technology IAMOT 2015 Conference Proceedings*.
- Deradjat, D., & Minshall, T. (2017) Implementation of rapid manufacturing for mass customisation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(1), 95-121.
- Egghe, L. (2005) Relations between the continuous and the discrete Lotka power function. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 56 (7), 664–668.
- Frazier, W. E. (2014) Metal additive manufacturing: A review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), 1917-1928.
- Frohlich, M. (1998) How do you successfully adopt an advanced manufacturing technology? *European Management Journal*, 16(2), 151–159.
- Gar-eld E., & Sher, I. H. (1993) Keand words plus [TM]-algorithmic derivative indexing. *Journal of american society for information science and technology*, 44, 298.
- Gerwin, D. (1988) A theory of innovation processes for computer-aided manufacturing technology. *IEEE Transactions of Engineering Management*, 35, 90–100.
- Gligor, D. M., & Holcomb, M. C. (2012) Understanding the role of logistics capabilities in achieving supply chain agility: a systematic literature review,” *Supply Chain Management*, 17(4), 438–453.
- Ilg, J.; Oehler, A.; & Lucke, D. (2019) A suitability analysis method for additive manufacturing technologies in small and medium-sized companies. *Procedia CIRP*, 81, 612-627.
- Iqbal, A., Zhao, G., Suhaimi, H., He, N., Hussain, G., & ZHAO, W. (2020) Readiness of subtractive and additive manufacturing and their sustainable amalgamation from the perspective of Industry 4.0: a comprehensive review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(9), 2475-2498.
- Jyoti, M., & Lijun, S. (2013) Advances in direct metal deposition. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE 2013*, San Diego, California.
- Leonard-Barton, D. (1988) Implementation as mutual adaptation of technology and organization. *Research Policy*, 17, 241–287.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009) The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration, *PLOS Medicine*, 6(7).
- Lotka, A. J. (1926) The frequency distribution of scientific productivity. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 16 (12), 317–324.
- Mellor, S., Hao, L., & Zhang, D. (2014) Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, 194-210.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2010) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336-341.
- Nima, S., Yadollahi, A., Bian, L., & Thompson, S. (2015) An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part II: Mechanical behavior, process parameter optimization and control. *Additive Manufacturing*, 8, 12-35.
- Rahim, S. L., & Maidin, S. (2014) Feasibility study of additive manufacturing technology implementation in Malaysian automotive industry using analytic hierarchy process. *Advanced Materials Research*, 903, 450-454.
- Ruffo, M., Tuck, C., & Hague, R. (2007) Make or buy analysis for rapid manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 13(1), 23-29.



Shah, S., & Mattiuzza, S. (2018) Adoption of Additive Manufacturing Approaches: The Case of Manufacturing SMEs. *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation*.

Tyre, M. J., & Hauptman, O. (1992) Effectiveness of organizational responses to technological change in the production process. *Organization Science*, 3, 301–320.

Volpato, N., & Carvalho, J. (2017) *Introdução a manufatura aditiva ou impressão 3D*. In: Volpato, N. (Coord). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Blucher.

Voss, C. (1988) Implementation: a key issue in manufacturing technology: the need for a field of study. *Research Policy*, 17(2), 55-63.

Yeh, C. C., & Chen, Y. F. Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting & Social Change*, 132, 209-216.

Yeong, W. Y., & Chua, C. K. (2013) A quality management framework for implementing additive manufacturing of medical devices. *Virtual and Physical Prototyping*, 8(3), 193-199.