

## **ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A TENDÊNCIA DA APLICAÇÃO DA MANUFATURA HÍBRIDA**

**Marco Aurélio Feriotti**

Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do CEETEPS  
marco.feriotti@cpspos.sp.gov.br

**Alexandre Formigoni**

Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do CEETEPS  
alexandre.formigoni@cpspos.sp.gov.br

### **Resumo**

A Manufatura Híbrida (MH) descreve processos e máquinas híbridas, bem como impressão multimateriais, multiestrutura e multifuncional. O que a MH oferece é a capacidade de reescrever as regras de design de materiais e adicionar uma nova dimensão de design ao paradigma de manufatura aditiva (MA). A integração dessas duas tecnologias em uma cadeia de processos híbrida tem grande potencial para superar as técnicas tradicionais de fabricação, possibilitando a entrega de produtos de forma fisicamente completa e com tempos de produção mais curtos. O objetivo deste estudo é analisar e descrever as tendências de produção de pesquisa científica da manufatura híbrida de 2017 a 2021. As publicações foram extraídas de periódicos indexados pela *Web of Science*. A análise bibliométrica foi usada para analisar a produção científica, incluindo números de publicação anual, literatura e características da publicação. Foi possível visualizar a análise de rede colaborativa, análise de cocitação e de coocorrência de palavras-chave usando a análise de mapeamento utilizando o software *VOSviewer* e a ferramenta do pacote *Bibliometrix R*. A análise quantitativa avaliou a distribuição de países, afiliações, citações, índice H e parcerias de pesquisa colaborativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manufatura híbrida. *VOSviewer*. *Bibliometrix R*.

## Abstract

Hybrid Manufacturing (MH) describes hybrid processes and machines, as well as multi-material, multi-frame, and multi-purpose printing. What MH offers is the ability to rewrite material design rules and add an innovative design dimension to the additive manufacturing (AM) paradigm. The integration of these two technologies in a hybrid process chain has enormous potential to overcome traditional manufacturing techniques, enabling the delivery of products in a physically complete way and with shorter production times. The objective of this study is to analyze and describe the trends in scientific research production on hybrid manufacturing from 2017 to 2021. Publications were extracted from journals indexed by the Web of Science. Bibliometric analysis was used to analyze scientific production, including annual publication numbers, literature, and publication characteristics. It was possible to visualize the collaborative network analysis, co-citation analysis and keyword co-occurrence analysis using the mapping analysis using the VOSviewer software and the package Bibliometrix R tool. The quantitative analysis analyzed the distribution of countries, institutions, citations, index H and collaborative research partnerships.

**Keywords:** Hybrid Manufacturing. VOSviewer. Bibliometrix R.

## Introdução

A tecnologia emergente de manufatura híbrida está evoluindo, combinando vários materiais com propriedades diferentes e adaptando-os a partir de componentes com propriedades personalizadas para atender uma variedade de aplicações. Os processos de manufatura híbrida podem ser categorizados por várias combinações de materiais metálicos. Recentemente, pesquisadores estão explorando ainda mais a possibilidade de usar esta tecnologia para produzir peças altamente funcionais (CHUEH, ZHANG, *et al.*, 2020).

Dada a evolução dessa tecnologia, é importante analisar as produções científicas baseadas nos bancos de dados para identificar e compreender as tendências globais de pesquisa do processo da manufatura híbrida.

O objetivo deste estudo é avaliar quantitativamente a tendência dos estudos acadêmicos relacionados à manufatura híbrida por meio de métodos bibliométricos e, assim, apresentar uma ideia holística sobre a sua evolução.

Espera-se que os resultados dessa pesquisa forneçam aos pesquisadores e gerentes de projetos uma visão extensiva das tendências da aplicação da manufatura híbrida.

Estudos bibliométricos permitem acompanhar as frequências e tendências de publicações científicas associadas a um campo/tema específico e a relação de citações. Neste estudo, foram coletados artigos em periódicos no banco de dados da *Web of Science* de 2017 a 2021, o método de análise bibliométrica foi executado utilizando o software *VOSviewer* e a ferramenta do pacote *Bibliometrix R* para analisar e avaliar a literatura relevante sobre a manufatura híbrida.

Os resultados das avaliações desses documentos científicos são apresentados em 8 aspectos principais: análise de tendências básicas de crescimento, análise de periódicos, análise de países, análise de autores, análise de cocitações, análise de fontes e análise de palavras-chave.

## **EMBASAMENTO TEÓRICO**

Nessa seção apresenta-se um resumo de literatura sobre a teoria abordando os assuntos principais do tema problema de pesquisa. Sendo assim, esta revisão bibliográfica foi baseada em citações extraídas de autores e publicações relevantes para a fundamentação teórica deste trabalho.

### **Manufatura Híbrida**

Os sistemas de fabricação híbrida estão se tornando uma solução industrial para a produção de peças de alta complexidade, em termos de configuração como resultado da integração de processos aditivos e subtrativos em uma única plataforma (CORTINA, ARRIZUBIETA, *et al.*, 2018).

Na figura 1, pode-se observar um exemplo de aplicação do *Laser Metal Deposition* (LMD) numa peça aeroespacial utilizando o processo de manufatura híbrida.

Figura 1 – Exemplo de aplicação LMD pelo processo de manufatura híbrida



**Fonte:** BeAM Machines - Additive Manufacturing an AddUp company

A combinação de tecnologias aditivas e subtrativas em uma única máquina híbrida traz vantagens inquestionáveis para a produção de peças complexas, este processo é comprovadamente eficaz na remanufatura, revestimento e reparo de peças existentes, além de abrir novas possibilidades no projeto de geometrias inovadoras. Por exemplo, o LMD é usado para aplicações de fabricação e reforma de componentes críticos de motores aeroespaciais, matrizes e moldes e revestimentos, entre outros (RUIZ, GONZALEZ, *et al.*, 2018).

Na figura 2, pode-se observar uma representação da aplicação da manufatura híbrida na recuperação de uma peça.

Figura 2 – Representação da recuperação de uma peça aplicando a manufatura híbrida



**Fonte:** BeAM Machines - Additive Manufacturing an AddUp company

O desenvolvimento de máquinas híbridas permitiu unir as vantagens de múltiplos processos utilizando uma única máquina para toda a fabricação de peças metálicas com os benefícios subsequentes que ela traz, operações de pré e pós-processamento

que requerem outras máquinas ou estações de trabalho podem ainda ser necessárias, como por exemplo: tratamentos térmicos, operações de pintura, etc. (JHAVAR, 2017).

### **VOSviewer**

*VOSviewer* é um programa de computador de código aberto que permite realizar análises bibliométricas e exibir mapas bidimensionais com base nas coocorrências dos *nodes*/sujeitos (VAN ECK e WALTMAN, 2010). Uma das vantagens do seu uso para este fim é que se pode analisar os dados bibliométricos exportados diretamente das principais bases de dados, dentre elas o *Web of Science*.

O *VOSviewer* é adequado para a representação gráfica de mapas cientométricos, particularmente funcional para apresentar de forma facilmente interpretável (VAN ECK e WALTMAN, 2010).

### **Bibliometrix R**

O pacote de software *Bibliometrix*, desenvolvido pelo professor Massimo Aria em 2017, é uma ferramenta bibliométrica baseada na linguagem *R*, que pode importar e processar informações bibliográficas de bancos de dados como o *Web of Science* e realizar análises estatísticas em índices relevantes da literatura científica, baseado no fato de que coocorrência, cocitação, acoplamento bibliográfico, análise cooperativa, análise de palavras-chave, análise dos autores e países pode realizar pesquisas e visualizações em termos de acoplamento e evolução de tópicos, etc.

Portanto, o pacote de software *Bibliometrix R* pode completar independentemente o processo de análise estatística bibliométrica de cinco etapas de desenho do estudo, coleta de dados, análise de dados, visualização e interpretação de dados (ARIA e CUCCURULLO, 2017).

## **DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA**

A revisão bibliométrica foi escolhida por ser um método desenhado para responder a questões específicas e permitir a coleta, seleção e análise crítica das pesquisas. Portanto, a fonte da pesquisa bibliométrica são os artigos da pesquisa original na base de dados.

Por meio da análise bibliométrica, é possível determinar a extensão da pesquisa em uma determinada disciplina em um determinado período, quais são as principais tendências entre os autores e qual é o escopo e a finalidade das publicações científicas. Para realizar a bibliometria, há análise de palavras-chave, análise de autores citados, análise de cocitação e análise de acoplamento bibliográfico (PEREIRA, SANTOS, *et al.*, 2019).

Um conjunto das análises bibliométricas foi utilizando o *Bibliometrix*, pois, é a ferramenta com o maior conjunto de análises, atendendo a todos os critérios de comparação especificados. É diferente dos demais por ser o único não desenvolvido em linguagem Java, e por utilizar uma interface web baseada em linguagem R. Esse fator pode ser visto como uma vantagem, pois permite maior participação da comunidade e uso de pacotes R (MOREIRA, GUIMARÃES e TSUNODA, 2020).

Outro conjunto das análises bibliométricas foi utilizando o *VOSviewer*, pois sua vantagem é a visualização de redes. No entanto, antes de visualizar o mapa, os dados processados podem ser examinados em um formato tabulado que pode ser exportado para outros programas, possibilitando novos tipos de análise. De qualquer forma, o *VOSviewer* é uma ferramenta típica para a fase de visualização de resultados (MOREIRA, GUIMARÃES e TSUNODA, 2020).

Para a produção da revisão bibliométrica da literatura sobre manufatura híbrida, utilizou-se como estratégia busca de artigos científicos na base de dados *Web of Science* com publicação entre 2017 e 2021. Fundamenta-se a escolha dessa plataforma por se tratar de uma base de dados ampla, com uso muito difundido, com revisão por pares, cobertura multidisciplinar abrangente a mais de 50.000 livros acadêmicos, 12.000 periódicos e 160.000 anais de conferências. A seleção é baseada na avaliação de impacto, incluindo periódicos de acesso aberto em várias disciplinas.

A partir da escolha da base de dados, definiu-se os métodos de busca e filtros da pesquisa. O quadro 1 retrata os procedimentos e o resultado da busca dos artigos.

Quadro 1 – Procedimentos e resultados da busca dos artigos

| Palavras-chave                                       | Booleanos | Campos de busca                    | Período       | Idioma | Áreas de Pesquisa                       | Resultados |
|--|-----------|------------------------------------|---------------|--------|---|------------|
| Hybrid Manufacturing<br>Metal Additive Manufacturing | AND       | Todos os campos<br>Todos os campos | Todos os anos | Todos  | Todas                                   | 631        |
| Hybrid Manufacturing<br>Metal Additive Manufacturing | AND       | Tópico<br>Tópico                   | Todos os anos | Todos  | Todas                                   | 505        |
| Hybrid Manufacturing<br>Metal Additive Manufacturing | AND       | Tópico<br>Tópico                   | 2017 - 2021   | Todos  | Todas                                   | 394        |
| Hybrid Manufacturing<br>Metal Additive Manufacturing | AND       | Tópico<br>Tópico                   | 2017 - 2021   | Inglês | Todas                                   | 385        |
| Hybrid Manufacturing<br>Metal Additive Manufacturing | AND       | Tópico<br>Todos os campos          | 2017 - 2021   | Inglês | Eng <sup>a</sup> Mecânica<br>Metalurgia | 133        |

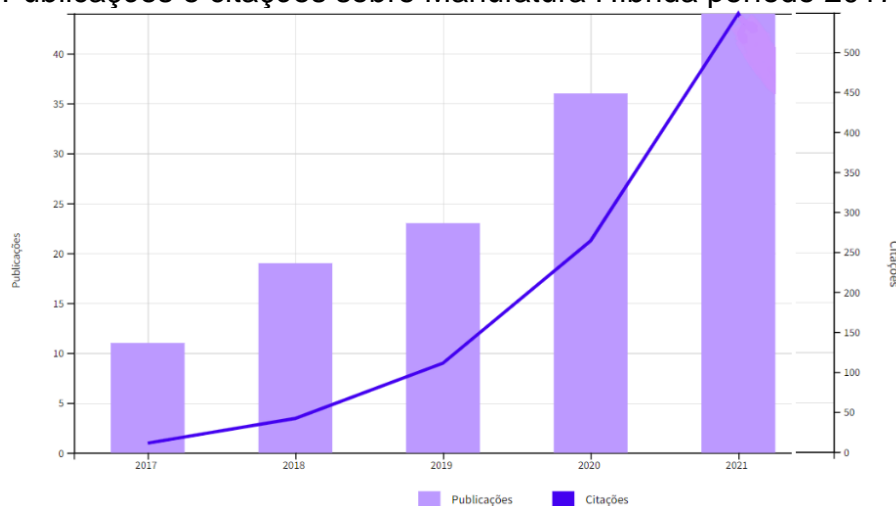
**Fonte:** Elaborado pelos autores

Após a coleta dos artigos na base de dados com filtros apropriados, o próximo passo é, por meio da revisão bibliométrica, entender quais periódicos, áreas de pesquisa e autores que estão publicando mais artigos. O principal objetivo desta parte do estudo é aprofundar a compreensão dos pesquisadores sobre o campo da pesquisa em manufatura híbrida. A próxima seção analisa os artigos selecionados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em virtude da curvatura crescente relativa ao número de citações e publicações sobre manufatura híbrida, mostrada no gráfico 1, justifica-se um estudo bibliométrico nesta área, já que houve um crescimento exponencial a partir do ano de 2017. Porém, foi no ano de 2020 que vertiginosamente os estudos sobre esta tecnologia tornaram-se mais frequentes.

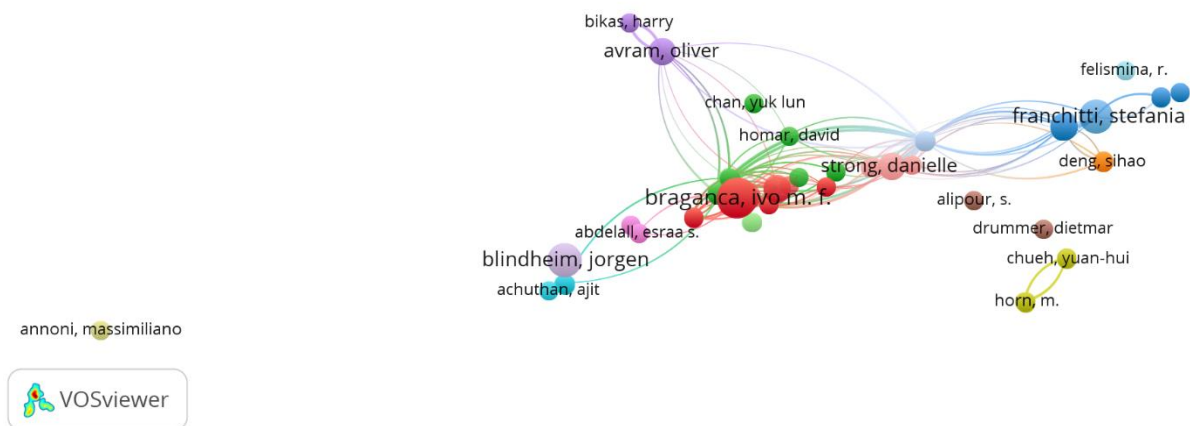
Gráfico 1 – Publicações e citações sobre Manufatura Híbrida período 2017-2021



**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído da base de dados WoS

Baseado na listagem de todas as referências resultantes da pesquisa na base de dados *WoS*, foi mapeado por meio do uso do software *VOSviewer* na versão 1.6.18, a rede de colaboração entre os autores para verificar quais foram os mais citados, o resultado encontrado identificou 168 autores (figura 3).

Figura 3 – Rede de colaboração entre autores e os autores mais citados



**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído do software *VOSviewer*

O autor Bragança, I.M.F. se destaca com maior evidência na rede de colaboração, os resultados da pesquisa identificaram 26 artigos publicados, 305 citações e índice h11, conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4 – Dados das publicações, citações e índice h do autor Bragança, I.M.F.

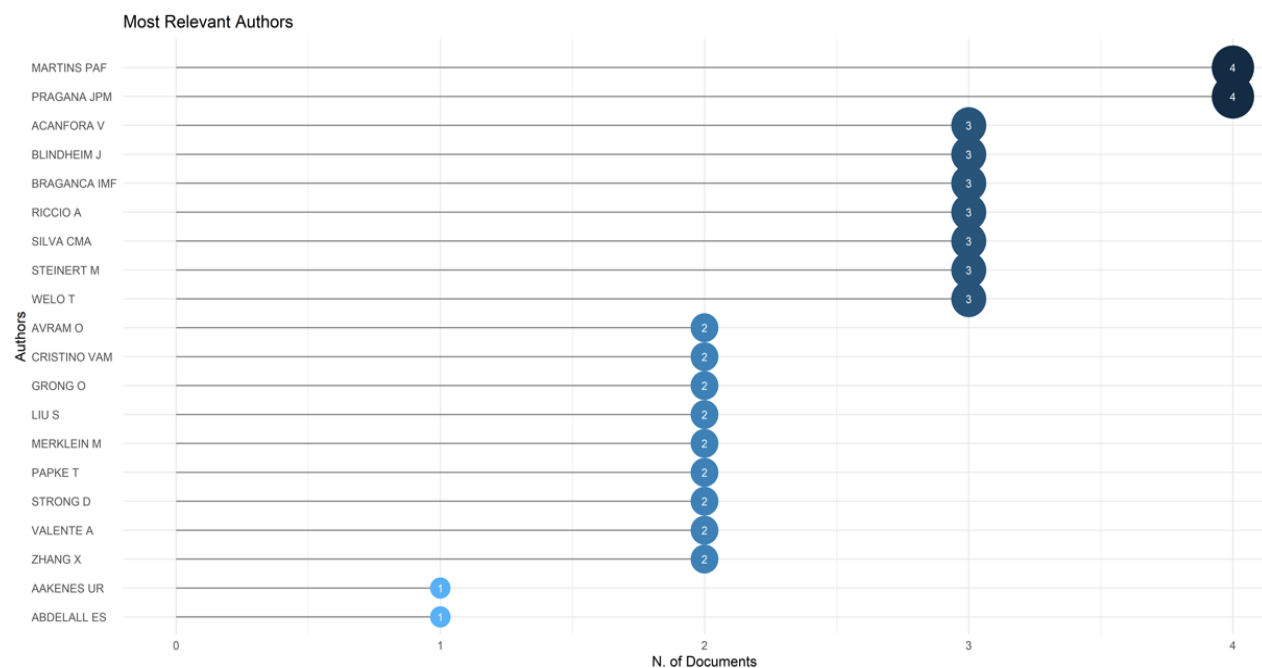




Fonte: [https://scholar.google.com.br/citations?user=\\_SrdOgoAAAAJ&hl=pt-BR&oi=sra](https://scholar.google.com.br/citations?user=_SrdOgoAAAAJ&hl=pt-BR&oi=sra)

A figura 5 demonstra os vinte autores mais relevantes com relação à quantidade de publicações, destacam-se os autores Martins, P. A. F e Pragana, J.P.M com quatro publicações cada um.

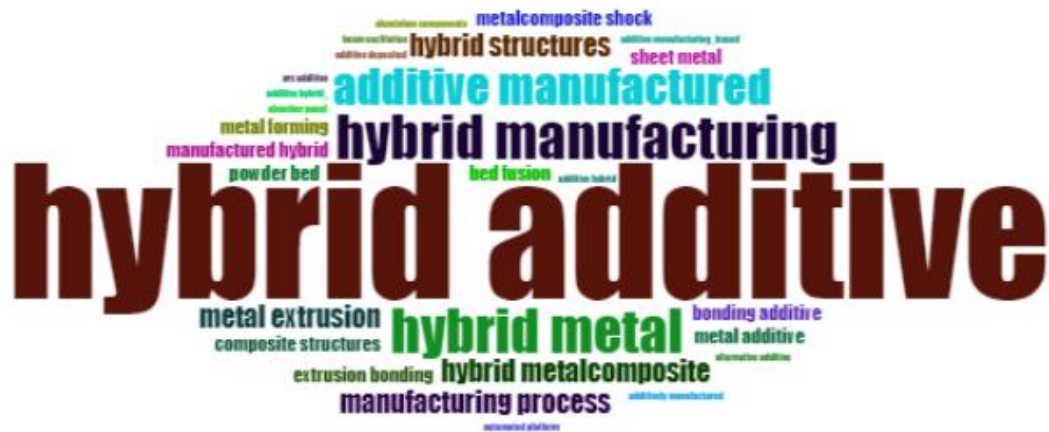
Figura 5 – Autores mais relevantes



Fonte: Elaborado pelos autores extraído do pacote *Bibliometrix R*

A nuvem de palavras exposta na figura 6, identifica os termos com maior incidência nos títulos dos artigos pesquisados, destacando-os pelo tamanho e cor da fonte.

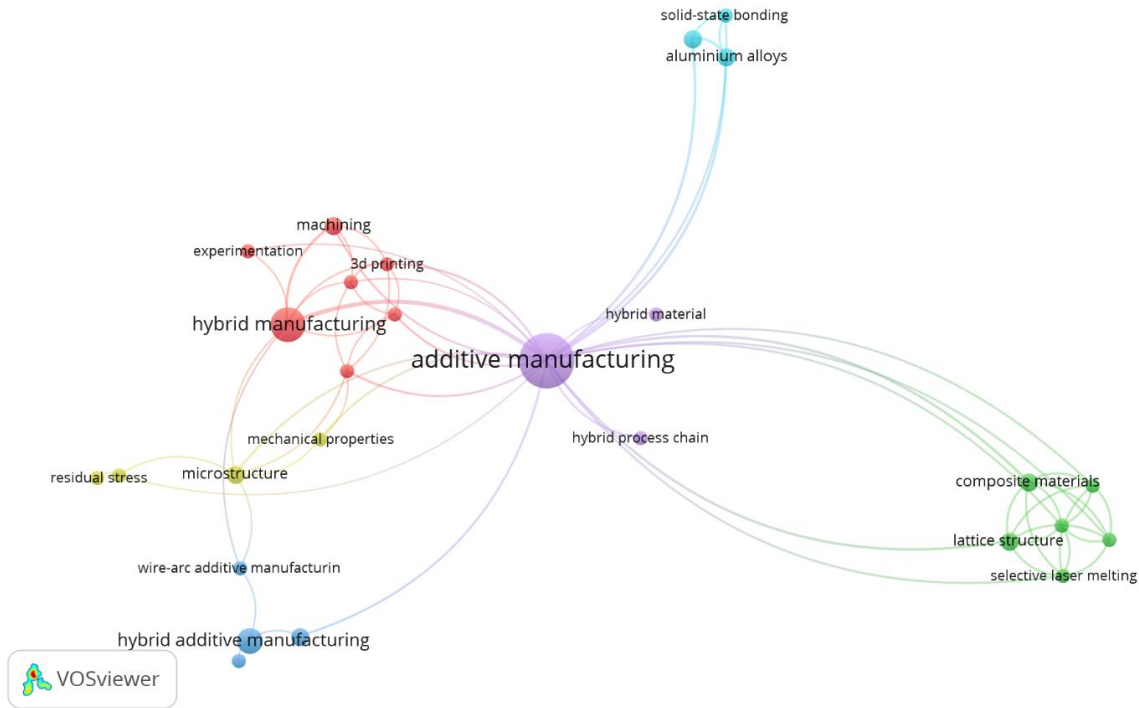
Figura 6 – Nuvem de palavras dos termos com maior incidência



Fonte: Elaborado pelos autores extraído do pacote *Bibliometrix R*

A rede de coocorrência de palavras-chave visualizou as palavras com mais ocorrência nos resumos dos artigos selecionados bem como seus relacionamentos, foram levantadas 160 palavras, destas 28 estão relacionadas e as com mais evidência são “additive manufacturing” e “hybrid manufacturing”, conforme está presente na figura 7.

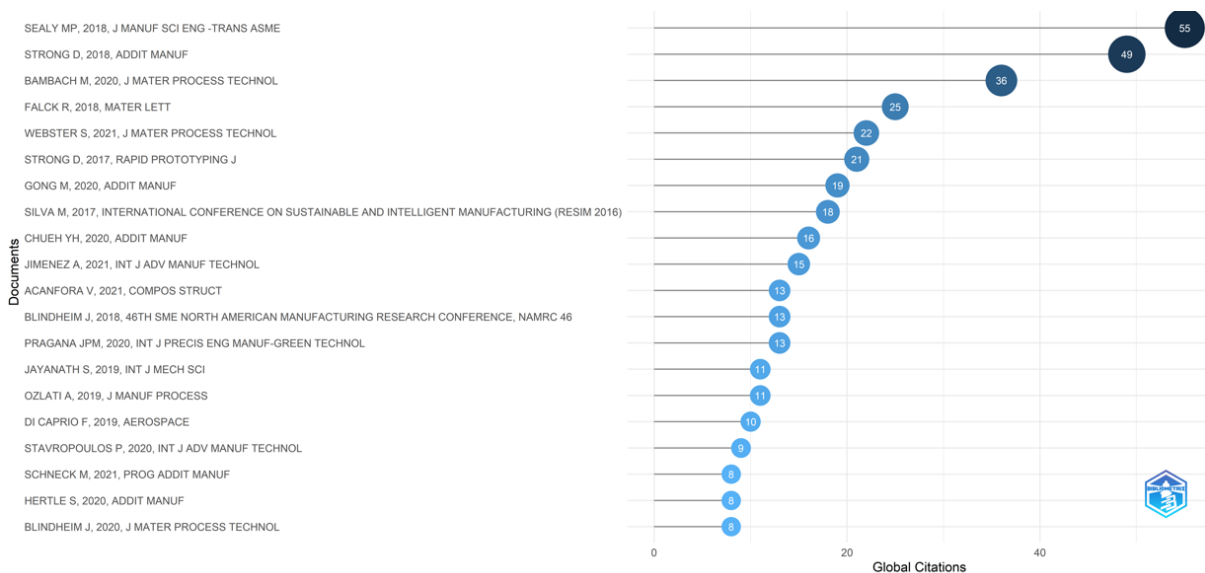
Figura 7 – Rede de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Elaborado pelos autores extraído do software VOSviewer

Os vinte documentos mais citados mundialmente, são exibidos na figura 8, destacam-se os artigos dos autores: Sealy (2018) com 55 citações, Strong (2018) com 49 citações e Bambach (2020) com 36 citações.

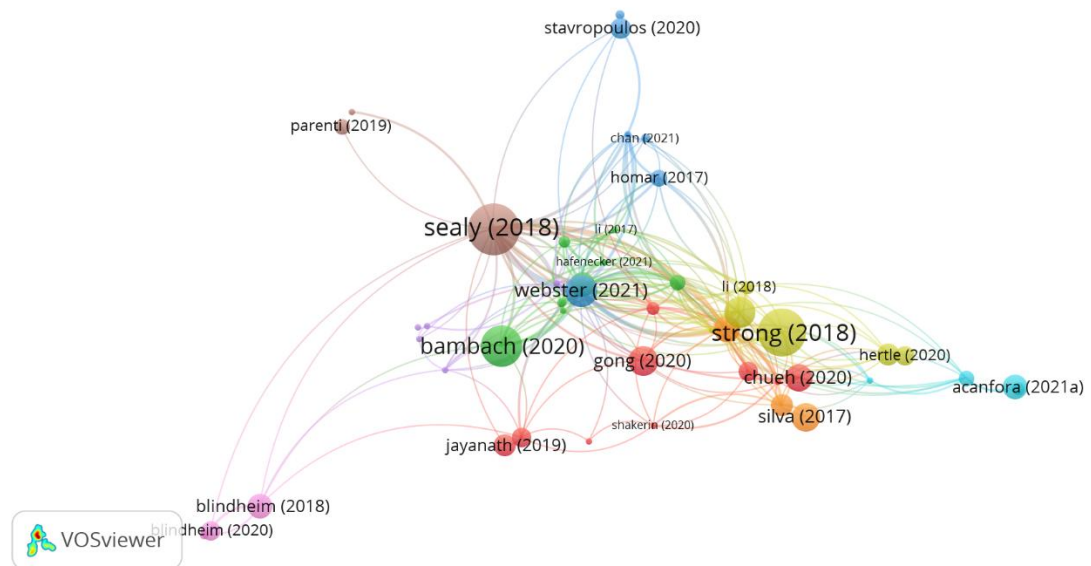
Figura 8 – Documentos mais citados mundialmente



Fonte: Elaborado pelos autores extraído do pacote Bibliometrix R

Na figura 9 observa-se na rede de acoplamento bibliográfico, os artigos que foram citados numa mesma publicação mapeados por meio do uso do software VOSviewer.

Figura 9 – Rede de acoplamento bibliográfico



**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído do software VOSviewer

A rede de acoplamento bibliográfico é constituída por 8 *clusters* com 47 artigos, no quadro 2 é descrita a lista dos autores mais evidenciados e seus artigos, observa-se a relação entre o conceito abordado da manufatura híbrida na aplicação multimateriais, multiestrutura e multifuncional.

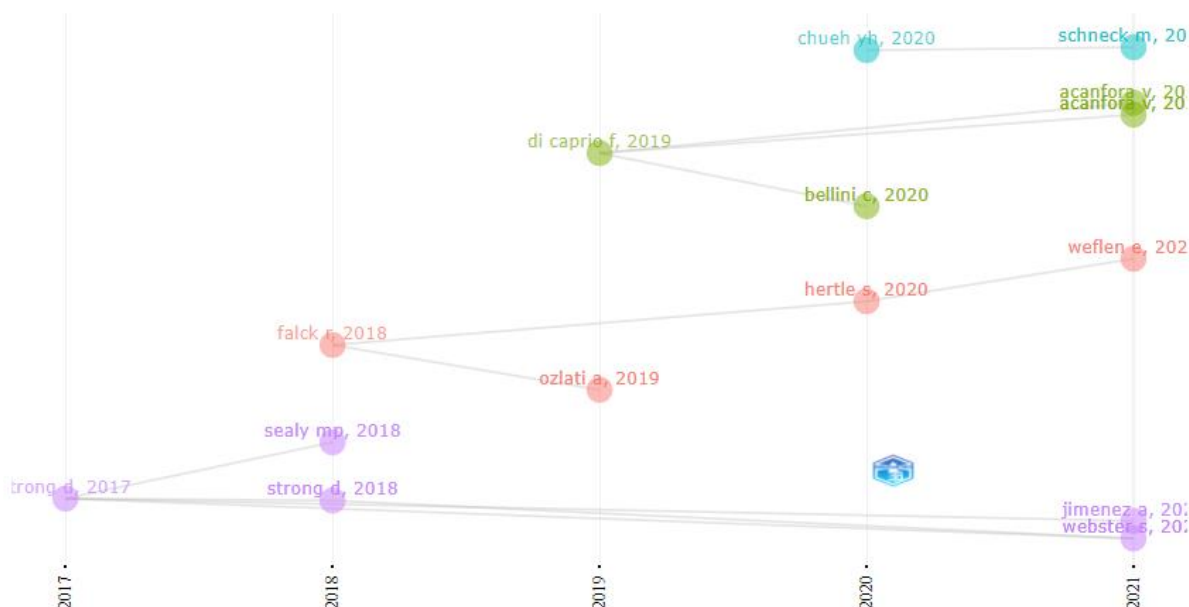
Quadro 2 – Lista dos autores mais evidenciados e seus artigos

| Cluster | Autor           | Artigo   | Cor      |
|---------|-----------------|--|----------|
| 7       | Silva (2017)    | <i>Application of a hybrid additive manufacturing methodology to produce a metal/polymer customized dental implant</i> | Laranja  |
| 8       | Sealy (2018)    | <i>Hybrid process additive manufacturing</i>   | Lilás    |
| 4       | Strong (2018)   | <i>Hybrid manufacturing – integrating traditional manufacturers with additive manufacturing supply chain</i>           | Amarelo  |
| 2       | Bambach (2020)  | <i>Hybrid manufacturing of components from Ti-6al-4v by metal forming and wire-arc additive manufacturing</i>          | Verde    |
| 1       | Chueh (2020)    | <i>Additive manufacturing of hybrid metal/polymer objects via multiple material laser powder bed fusion</i>            | Vermelho |
| 6       | Acanfora (2021) | <i>A feasibility study on additive manufacturing hybrid metal/composite shock absorbers</i>                            | Cian     |
| 3       | Webster (2021)  | <i>Physical mechanisms in hybrid additive manufacturing: a process design framework</i>                                | Azul     |
| 5       | Weflen (2021)   | <i>Hybrid additive and subtractive manufacturing of multi-material objects</i>   | Rosa     |

**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído do software VOSviewer

A Histografia na figura 10, retrata a citação direta dos artigos entre os vinte autores mais evidenciados no período histórico de 2017 a 2021.

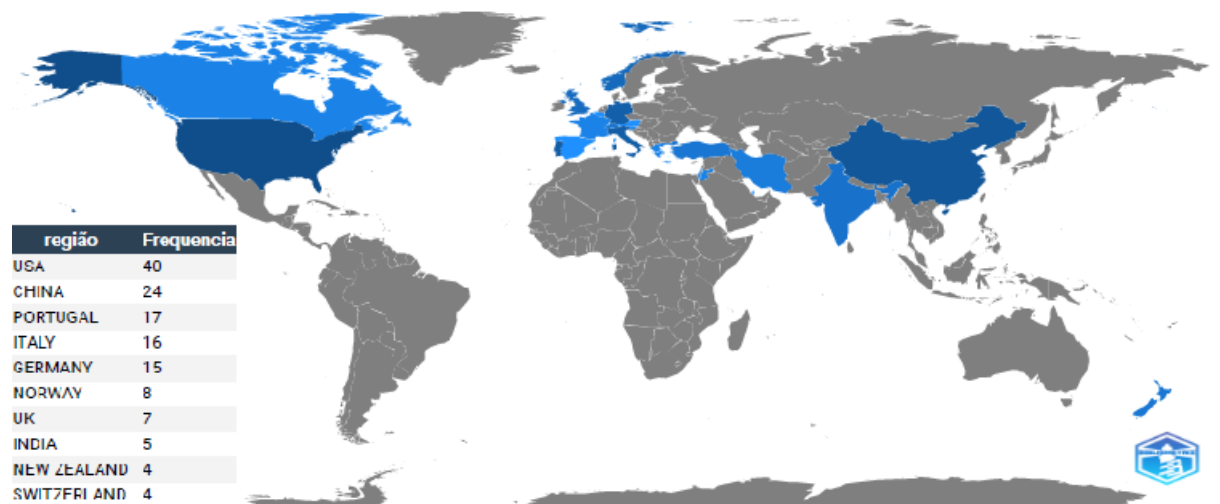
Figura 10 – Histografia das citações direta dos artigos



**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído do pacote *Bibliometrix R*

A figura 11 mostra os dez países com maior produção científica. Os EUA ficaram em primeiro lugar (40 artigos), a China em segundo lugar (24 artigos), Portugal em terceiro lugar (17 artigos), em quarto lugar Itália (16 artigos) e Alemanha em quinto lugar (15 artigos). Os demais países são: Noruega (8 artigos), Reino Unido (7 artigos), Índia (5 artigos), Nova Zelândia (4 artigos) e Suíça (4 artigos).

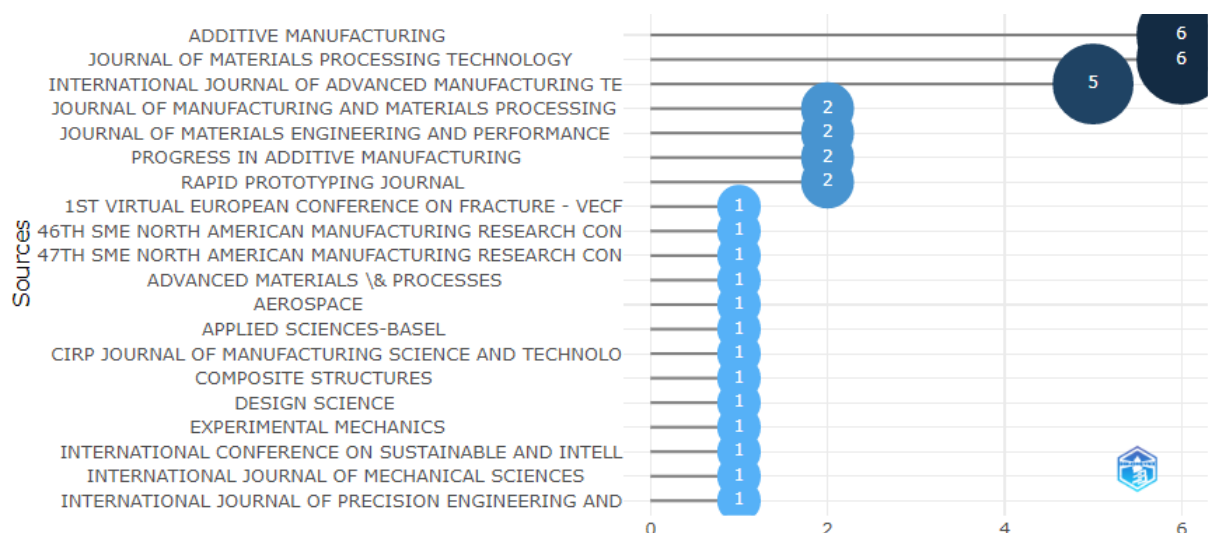
Figura 11 - Produção científica de países em pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores extraído do pacote *Bibliometrix R*

As vinte fontes mais relevantes que publicaram artigos e periódicos abordando temas sobre a manufatura híbrida estão representados na figura 12.

Figura 12 - Produção científica de afiliações mais relevantes



**Fonte:** Elaborado pelos autores extraído do pacote *Bibliometrix R*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescente número de artigos publicados nos últimos 5 anos reflete o aumento do interesse no tema da manufatura híbrida pela academia em todo o mundo e conclui que a tecnologia está se tornando mais difundida na indústria.

Após uma revisão bibliométrica da literatura de manufatura híbrida, pode-se constatar que o conhecimento nesta área está em curva ascendente em relação ao número de publicações internacionais. Esse fato se deve à importância que o assunto vem ganhando em instituições de ensino e indústrias ao redor do mundo. Quando o foco está na melhoria da produtividade ou no processo de inovação, o aprendizado pode funcionar como um viés orientado por organizações e faculdades que absorvem mais conhecimento.

Outra conclusão que pode ser inferida, é que não há uma tendência particular de adoção dessa tecnologia, ou seja, ela pode ser utilizada em diferentes setores, pois há um grande número entre países e setores diversos que estudam a manufatura híbrida e suas aplicações.

Este estudo também mostra que existem lacunas e oportunidades de pesquisa e informações detalhadas sobre métodos e aplicações. Nesse sentido, a discussão da tecnologia de manufatura híbrida como campo de pesquisa tem avançado em periódicos internacionais, pois a maturidade desse campo de pesquisa permite a reinterpretação de conceitos tradicionais de manufatura subtrativa e aditiva.

Portanto, este trabalho contribui para novas pesquisas para melhor elucidar como essa tecnologia se consolida, por exemplo, por meio de abordagens empíricas de tecnologia aplicada e do estudo de materiais metálicos em desenvolvimento. Outra sugestão para pesquisas futuras é a implementação de SLR apoiada em estudos bibliométricos que focam em áreas específicas como o setor de ferramentarias que começam a ser destacadas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ABDULRAHMAN, K. O. Laser metal deposition technique: Sustainability and environmental impact. **Procedia Manuf.** , v. 21, p. 109-116, 2018.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **J. Inform**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

BIBLIOSHINY/BIBLIOMETRIX for no Coders. Disponível em: <<https://bibliometrix.org/biblioshiny/>>. Acesso em: 25 abr. 2022.

CHUEH, Y.-H. et al. Additive manufacturing of hybrid metal/polymer objects via multiplematerial-multiplematerial. **Additive Manufacturing**, 2020.

CORTINA, M. B. et al. Latest Developments in Industrial Hybrid Machine Tools that Combine Additive and Subtractive Operations. **Materials**, v. 11, n. 12, p. 2583, 2018.

JHAVAR, S. Causes of failure and repairing options for dies and molds: A review. **Eng. Fail. Anal.** , v. 34, p. 519–535, 2017.

KUMAR, L. J. Laser metal deposition repair applications for Inconel 718 alloy. **Mater. Today Proc.** , v. 4, p. 11068–11077, 2017.

LEINO, M.; PEKKARINEN, J.; SOUKKA, R. The Role of Laser Additive Manufacturing Methods of Metals in Repair, Refurbishment and Remanufacturing—Enabling Circular Economy. **Phys. Procedia**, v. 83, p. 752-760, 2016.

MOREIRA, P. S. D. C.; GUIMARÃES, A. J. R.; TSUNODA, D. F. Qual Ferramenta Bibliométrica Escolher? Um Estudo Comparativo Entre Softwares. **P2P & INOVAÇÃO**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 140-158, 2020.

PEREIRA, R. S. et al. Meta-analysis as a research tool: A systematic review of bibliometric studies in administration. **Revista de Administracao Mackenzie**, v. 20, 2019.

RUIZ, J. E. et al. Desarrollo de estrategia y sensorizacion en proceso de LMD para reparacion de geometrias tipo blisk. **Revista Iberoamericana de Ingenieria Mecanica**, v. 22, p. 13–18, 2018.



VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, n. 84, p. 523–538, 2010.

VOSVIEWER 1.6.18. Disponível em: <Disponível online : <https://www.vosviewer.com/>>.  
Acesso em: 02 maio 2022.