



ISSN: 2595-1661

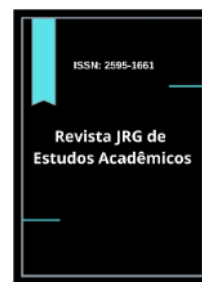
ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>



Aplicações da impressão 3d no design industrial: avanços, materiais e sustentabilidade

Applications of 3d printing in industrial design: advances, materials, and sustainability

DOI: 10.55892/jrg.v8i18.2304

ARK: 57118/JRG.v8i18.2304

Recebido: 25/06/2025 | Aceito: 28/06/2025 | Publicado *on-line*: 04/07/2025

Isaque Verissimo

<https://orcid.org/0009-0006-1663-8959>

E-mail: verissimo@verissimodesign.com



Resumo

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, tem se consolidado como uma tecnologia transformadora no design industrial, oferecendo novas possibilidades em prototipagem, personalização em massa e desenvolvimento sustentável. Este estudo trata-se de uma revisão narrativa da literatura que analisa os principais avanços tecnológicos, os materiais empregados e as implicações ambientais associados à impressão 3D no contexto do design industrial. Foram selecionados 38 artigos científicos publicados entre 2015 e 2024 nas bases Scopus, ScienceDirect e Google Scholar. Os resultados apontam que a tecnologia tem promovido inovação em processos projetuais e produtivos, especialmente por meio do uso de softwares avançados, algoritmos generativos e integração com tecnologias digitais emergentes. A variedade de materiais, incluindo polímeros, metais, cerâmicas e compósitos, amplia o escopo de aplicações, embora desafios técnicos, normativos e econômicos ainda limitem sua adoção em larga escala. Do ponto de vista ambiental, a impressão 3D se destaca por reduzir o desperdício e permitir práticas alinhadas à economia circular, sendo necessária, entretanto, a evolução de políticas regulatórias e análises de ciclo de vida mais robustas. Conclui-se que a impressão 3D representa uma mudança de paradigma no design industrial, com potencial significativo para inovação sustentável e avanços futuros em direção a modelos mais eficientes e integrados.

Palavras-chave: Impressão 3D; Design Industrial; Manufatura Aditiva; Sustentabilidade; Materiais Avançados.

Abstract

3D printing, or additive manufacturing, has established itself as a transformative technology in industrial design, offering new possibilities in prototyping, mass customization, and sustainable development. This study presents a narrative literature review that analyzes the main technological advances, the materials employed, and the environmental implications of 3D printing within the context of

industrial design. A total of 38 scientific articles published between 2015 and 2024 were selected from the Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar databases. The findings indicate that this technology has driven innovation in design and production processes, particularly through the use of advanced software, generative algorithms, and integration with emerging digital technologies. The diversity of materials, including polymers, metals, ceramics, and composites, expands the range of applications, although technical, regulatory, and economic challenges still limit its large-scale adoption. From an environmental perspective, 3D printing stands out for reducing waste and enabling practices aligned with the circular economy. However, further development of regulatory frameworks and robust life cycle assessments is needed. It is concluded that 3D printing represents a paradigm shift in industrial design, with significant potential for sustainable innovation and future advances toward more efficient and integrated models.

Keywords: 3D Printing; Industrial Design; Additive Manufacturing; Sustainability; Advanced Materials.

1. Introdução

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão tridimensional (impressão 3D), representa uma das tecnologias mais disruptivas da Indústria 4.0. Sua aplicação no design industrial tem promovido uma transformação profunda nos processos de concepção, prototipagem e produção de objetos, ao possibilitar a criação de geometrias complexas, a redução significativa de resíduos e a personalização em larga escala (Berman, 2012; Gebhardt; Hötter, 2016). Diferentemente dos métodos convencionais de fabricação subtrativa, que removem material de blocos sólidos, a impressão 3D atua por meio da deposição controlada de camadas de material, o que confere maior eficiência na utilização de recursos (Ngo et al., 2018).

O design industrial, tradicionalmente limitado por moldes fixos, prensas e processos mecanizados de alto custo, passou a incorporar a impressão 3D como ferramenta essencial para a prototipagem rápida e a experimentação de formas e funções. A liberdade projetual oferecida por essa tecnologia permite a materialização de ideias com menor tempo de desenvolvimento, ao mesmo tempo em que possibilita a iteração contínua com base em testes físicos de validação (Lipson; Kurman, 2013). Essa capacidade de acelerar o ciclo de inovação está diretamente associada ao ganho de competitividade no setor industrial contemporâneo.

Do ponto de vista técnico, diversos métodos de impressão 3D têm sido desenvolvidos e aprimorados, como a modelagem por deposição fundida (FDM), a estereolitografia (SLA), a sinterização seletiva a laser (SLS) e a fusão seletiva a laser de metais (SLM/DMLS). Cada uma dessas técnicas apresenta características específicas quanto à resolução, velocidade, tipo de material suportado e custo operacional (Gibson; Rosen; Stucker, 2021). Paralelamente, o desenvolvimento de novos materiais poliméricos, metálicos, cerâmicos e compostos amplia o leque de aplicações no design industrial, oferecendo alternativas mais resistentes, leves e ambientalmente responsáveis (Gupta et al., 2022).

A sustentabilidade é outro eixo relevante na incorporação da impressão 3D às práticas do design industrial. A capacidade de reduzir desperdícios, consumir menos energia e empregar materiais recicláveis ou biodegradáveis posiciona a manufatura aditiva como uma aliada da economia circular e do ecodesign (Torres et al., 2016). Estudos demonstram que a produção sob demanda, viabilizada pela impressão 3D,

contribui para a diminuição de estoques, o encurtamento das cadeias logísticas e a redução das emissões de carbono relacionadas ao transporte e ao armazenamento (Huang et al., 2016). No entanto, ainda existem desafios a serem superados, como a durabilidade dos materiais sustentáveis, a padronização dos processos e a viabilidade econômica em larga escala.

Diante desse cenário, torna-se essencial compreender as possibilidades e limitações da impressão 3D aplicada ao design industrial. Esta revisão de literatura tem como objetivo analisar criticamente os principais avanços tecnológicos da impressão 3D, os materiais empregados nesse contexto e as implicações ambientais associadas à sustentabilidade.

2. Metodologia

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, cujo objetivo foi reunir, sintetizar e discutir os principais achados científicos relacionados às aplicações da impressão 3D no design industrial, com foco nos avanços tecnológicos, tipos de materiais e aspectos ligados à sustentabilidade.

A pesquisa bibliográfica foi realizada entre maio e junho de 2025, utilizando as bases de dados **Scopus**, **ScienceDirect** e **Google Scholar**. Os descritores utilizados foram: “3D printing”, “additive manufacturing”, “industrial design”, “materials” e “sustainability”, combinados por meio de operadores booleanos (“AND”, “OR”) para maior abrangência dos resultados.

Foram incluídos artigos publicados entre **2015 e 2024**, nos idiomas português e inglês, com acesso ao texto completo e que abordassem direta ou indiretamente os temas centrais da revisão. Foram excluídos estudos duplicados, resumos sem corpo textual completo, artigos opinativos e textos sem relação com a área de design industrial.

A seleção foi realizada por leitura de título, resumo e, posteriormente, do texto integral. Ao final, **foram selecionados 38 artigos científicos** que compuseram a base analítica deste estudo.

3. Referencial Teórico

3.1. Fundamentos da Impressão 3D

A impressão 3D, também denominada manufatura aditiva, é um processo de fabricação baseado na deposição sucessiva de camadas de material, orientadas digitalmente, para formar objetos tridimensionais. Diferentemente dos métodos tradicionais de manufatura subtrativa, como usinagem e moldagem por injeção, que removem ou utilizam moldes fixos, a impressão 3D permite a construção de peças diretamente a partir de modelos digitais com geometrias complexas e alto grau de customização (Gibson; Rosen; Stucker, 2021).

O conceito de manufatura aditiva remonta às décadas de 1980 e 1990, com os primeiros sistemas comerciais de estereolitografia (SLA), desenvolvidos para aplicações industriais de prototipagem rápida (Gebhardt; Hötter, 2016). Desde então, a tecnologia evoluiu significativamente, incorporando novos métodos de fabricação e materiais. As principais técnicas de impressão 3D atualmente empregadas incluem:

- **Fused Deposition Modeling (FDM)**: modelagem por deposição fundida, amplamente utilizada por sua acessibilidade e compatibilidade com polímeros como PLA e ABS;
- **Stereolithography (SLA)**: utiliza resinas fotopolimerizáveis curadas por luz UV, resultando em alta resolução e detalhamento;

- **Selective Laser Sintering (SLS):** sinterização seletiva a laser de pós poliméricos ou metálicos, indicada para peças funcionais com boas propriedades mecânicas;
- **Direct Metal Laser Sintering (DMLS) e Selective Laser Melting (SLM):** aplicadas à manufatura de componentes metálicos de alta resistência, especialmente na indústria aeroespacial e biomédica (Ngo et al., 2018; Chia; Wu, 2015).

Essas tecnologias compartilham o princípio de construção aditiva, mas variam quanto à resolução, velocidade, tipo de material utilizado, acabamento superficial e custo. A escolha do método depende diretamente da aplicação final, sendo necessário considerar variáveis como resistência mecânica, tolerância dimensional, estética, e viabilidade econômica (Gupta et al., 2022).

Outro aspecto fundamental da impressão 3D é o uso de softwares de modelagem tridimensional, como CAD (Computer-Aided Design), que permitem a criação e otimização de modelos antes da produção física. Além disso, ferramentas de simulação e análise estrutural têm sido incorporadas aos fluxos de trabalho, possibilitando o desenvolvimento de objetos mais eficientes e com menor desperdício de material (Huang; Leu; Mazumder, 2015).

A flexibilidade proporcionada pela manufatura aditiva permitiu sua aplicação em uma ampla gama de setores industriais, desde o desenvolvimento de protótipos de produtos de consumo até a produção de peças finais em setores como automotivo, aeroespacial, biomédico, arquitetura e moda (Lipson; Kurman, 2013). Esse caráter transversal reforça sua importância estratégica no design industrial contemporâneo.

4. Resultados e Discussão

4.1 Avanços Tecnológicos no Design Industrial

A integração da impressão 3D ao design industrial tem impulsionado a inovação em produtos, processos e estratégias de fabricação. Um dos principais avanços proporcionados por essa tecnologia é a prototipagem rápida (*rapid prototyping*), que reduz o tempo de desenvolvimento de produtos e permite a validação funcional e estética de projetos com maior agilidade (Bikas; Stavropoulos; Chryssolouris, 2016). A capacidade de realizar iterações frequentes, com menor custo e maior precisão, representa uma ruptura com os métodos tradicionais de desenvolvimento de produtos.

Além da prototipagem, destaca-se a personalização em massa (*mass customization*), que permite a fabricação de itens individualizados em escala industrial, atendendo às demandas específicas de cada usuário final. Esse conceito, aplicado em setores como mobiliário, automotivo e equipamentos médicos, foi viabilizado pela combinação entre softwares CAD avançados e tecnologias de impressão 3D (Rosen, 2007; Ford; Despeisse, 2016).

Outro avanço significativo é o design generativo, um processo que utiliza algoritmos computacionais para gerar automaticamente formas otimizadas com base em restrições estruturais e funcionais. A impressão 3D permite materializar essas geometrias complexas, antes inviáveis pelos métodos tradicionais de fabricação (Krish, 2011; Tsai et al., 2020). Essa abordagem tem sido amplamente explorada na indústria aeroespacial e em produtos com alto desempenho estrutural, como calçados esportivos e componentes arquitetônicos.

A manufatura digital distribuída também tem ganhado destaque como tendência derivada da impressão 3D, permitindo que empresas descentalizem suas

cadeias produtivas e realizem a fabricação sob demanda, próxima do ponto de consumo. Isso reduz custos logísticos e permite maior flexibilidade na customização regionalizada de produtos (Rayna; Striukova, 2016).

Por fim, cabe destacar a integração da impressão 3D com tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e realidade aumentada (RA), ampliando o escopo de aplicação e automação no design industrial. Essas inovações não apenas otimizam o desempenho funcional dos produtos, como também transformam a forma como eles são projetados, monitorados e utilizados ao longo de seu ciclo de vida (Bogue, 2013; Gebhardt; Hötter, 2016).

4.2 Materiais Utilizados na Impressão 3D

A diversidade de materiais disponíveis para impressão 3D tem sido um dos principais fatores responsáveis pela expansão de suas aplicações no design industrial. Os materiais utilizados influenciam diretamente a funcionalidade, durabilidade, estética e viabilidade econômica dos produtos fabricados. Eles podem ser classificados em quatro grandes categorias: polímeros, metais, cerâmicas e compósitos, cada um com propriedades e indicações específicas (Ngo et al., 2018; Kumar, Pandey e Nayak, 2022).

Os **polímeros** constituem o grupo mais amplamente utilizado na impressão 3D, especialmente nas tecnologias FDM (Fused Deposition Modeling) e SLA (Stereolithography). Materiais como **PLA (ácido polilático)**, **ABS (acrilonitrila butadieno estireno)** e **PETG (polietileno tereftalato glicol)** são populares devido à sua facilidade de processamento, custo relativamente baixo e adequação à prototipagem e fabricação de peças funcionais (Torres et al., 2016). O PLA, em particular, destaca-se por ser biodegradável, reforçando a vertente sustentável da manufatura aditiva.

No segmento de **metais**, materiais como **aço inoxidável**, **titânio**, **alumínio** e **ligas de cobalto-cromo** têm sido amplamente empregados em tecnologias como DMLS (Direct Metal Laser Sintering) e SLM (Selective Laser Melting). Esses materiais oferecem alta resistência mecânica, resistência à corrosão e biocompatibilidade, sendo indicados para aplicações críticas na indústria aeroespacial, automotiva e biomédica (Gupta et al., 2022; Li et al., 2020).

As **cerâmicas técnicas**, como a **zirconia** e a **alúmina**, vêm sendo exploradas por suas propriedades térmicas, elétricas e estéticas, especialmente em setores como eletrônica e odontologia. No entanto, o processamento desses materiais ainda apresenta desafios técnicos, como retração e fragilidade pós-sinterização, que limitam sua aplicação em larga escala (Zocca et al., 2015).

Por fim, os **materiais compósitos** têm ganhado destaque por combinarem as propriedades de duas ou mais classes de materiais, como polímeros reforçados com fibras de carbono ou vidro. Esses compósitos permitem a produção de peças leves, resistentes e adaptadas a aplicações específicas no design de produtos de alto desempenho (Yap et al., 2017).

Além da evolução dos materiais em si, destaca-se o desenvolvimento de **materiais funcionais**, como condutores elétricos, materiais sensíveis ao calor e até biomateriais com propriedades específicas de absorção ou regeneração. Essas inovações ampliam consideravelmente o campo de atuação da impressão 3D, aproximando-a de aplicações inteligentes e responsivas (Li et al., 2021).

A escolha do material mais adequado depende de diversos fatores, como tipo de tecnologia de impressão, requisitos de desempenho, propriedades mecânicas e

térmicas, estética e impacto ambiental. Portanto, o conhecimento aprofundado das propriedades dos materiais é essencial para sua aplicação eficiente e responsável no design industrial.

4.3 Sustentabilidade e Impacto Ambiental

A sustentabilidade tem se tornado um dos pilares estratégicos da inovação no design industrial, e a impressão 3D emerge como uma tecnologia promissora para mitigar impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. Entre os principais benefícios associados à manufatura aditiva estão a redução do desperdício de materiais, a diminuição das emissões de carbono, o aumento da eficiência energética e a possibilidade de utilização de materiais sustentáveis ou recicláveis (Gebler, Schoot Uiterkamp e Visser, 2015).

Diferente dos métodos tradicionais, que frequentemente geram grandes volumes de resíduos por subtração de matéria-prima, a impressão 3D utiliza apenas a quantidade exata de material necessária para a construção do objeto. Esse aspecto é particularmente relevante em materiais caros ou escassos, como metais raros, além de contribuir para a redução de custos e o aproveitamento mais consciente dos recursos naturais (Torres et al., 2023).

Outro ponto positivo está na produção sob demanda (on-demand manufacturing), que reduz a necessidade de estoques excessivos e permite a fabricação localizada, diminuindo os impactos ambientais associados ao transporte e ao armazenamento (Yap et al., 2017). Essa descentralização também favorece cadeias produtivas mais enxutas e resilientes, com menor dependência de estruturas logísticas complexas.

Estudos recentes mostram que o consumo energético de alguns processos aditivos, como FDM e SLS, pode ser otimizado com o uso de materiais como PLA, PETG e UV Resin, conforme análises de ciclo de vida (LCA) realizadas por Rajalakshmi, Kumar e Mohan (2022).” Tais estudos destacam a importância de considerar o impacto ambiental de todo o processo, desde a produção do filamento até a disposição final do produto.

Ainda assim, há desafios. O consumo energético de técnicas como SLS e DMLS pode ser elevado, especialmente nos processos de sinterização. Além disso, a ausência de normas internacionais padronizadas dificulta a mensuração precisa dos impactos ambientais entre diferentes tecnologias e aplicações.

Em síntese, a impressão 3D oferece um grande potencial de sustentabilidade, sobretudo quando integrada a estratégias de design ecológico, escolha adequada de materiais e planejamento eficiente do ciclo de vida do produto. Sua consolidação como tecnologia ambientalmente responsável depende da evolução técnica, do desenvolvimento de políticas regulatórias e da conscientização dos profissionais envolvidos em seu uso.

5. Desafios e Perspectivas Futuras

Apesar dos avanços significativos da impressão 3D no design industrial, diversos **desafios técnicos, econômicos e regulatórios** ainda limitam sua adoção plena em larga escala. Entre os principais entraves estão a **padronização dos processos**, a **limitação de materiais qualificados**, os **altos custos de equipamentos industriais**, além da **escassez de mão de obra especializada** (Attaran, 2017; Mellor; Hao; Zhang, 2014).

A **qualidade das peças impressas**, especialmente em aplicações funcionais, permanece como uma das principais preocupações. Fatores como anisotropia

mecânica, rugosidade superficial, precisão dimensional e resistência à fadiga variam amplamente entre diferentes tecnologias e parâmetros de impressão, exigindo maior controle de processo e validação técnica rigorosa (Reddy, Alimardani e Pandey, 2021). Além disso, a **reprodutibilidade entre lotes** ainda é um desafio em ambientes industriais de alta exigência.

Do ponto de vista econômico, embora o custo das impressoras 3D tenha diminuído nas últimas décadas, o investimento inicial em equipamentos de nível industrial, materiais específicos e sistemas de pós-processamento ainda é elevado. A viabilidade econômica da impressão 3D depende, em muitos casos, do tipo de aplicação, volume de produção e nível de customização exigido (Weller; Kleer; Piller, 2015).

No campo da **normatização**, a ausência de padrões globais e específicos para manufatura aditiva compromete a certificação e a interoperabilidade dos sistemas. Iniciativas lideradas por organismos como ISO e ASTM têm buscado estabelecer diretrizes técnicas para qualificação de materiais, processos e desempenho das peças, mas ainda há lacunas a serem preenchidas (ASTM International, 2020).

Entre as **perspectivas futuras**, destaca-se a convergência da impressão 3D com outras tecnologias emergentes da Indústria 4.0, como a **inteligência artificial (IA)**, **big data**, **digital twins** e **sistemas ciberfísicos**, permitindo um fluxo digital mais inteligente, automatizado e responsivo (Garrett, 2016). A IA, por exemplo, pode otimizar parâmetros de impressão em tempo real, prever falhas e reduzir o desperdício de material.

Outra tendência é o desenvolvimento da **impressão 4D**, que se baseia em materiais inteligentes capazes de responder a estímulos externos (temperatura, umidade, luz), promovendo mudanças estruturais ao longo do tempo. Essa inovação abre caminho para aplicações dinâmicas no design de produtos, vestuário técnico, dispositivos médicos e arquitetura interativa (Momeni; Hassani; Liu, 2017).

Além disso, espera-se o avanço da **bioimpressão 3D**, com impacto direto em áreas como medicina regenerativa, fabricação de tecidos vivos, órteses personalizadas e próteses biocompatíveis. Tais aplicações exigirão materiais avançados, ambientes controlados e marcos regulatórios específicos, mas apresentam alto potencial de transformação social e tecnológica.

Por fim, o fortalecimento de práticas sustentáveis e da **economia circular** deve impulsionar a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais recicláveis, biodegradáveis ou de origem renovável, contribuindo para uma transição ecológica na produção industrial (Gupta et al., 2022).

6. Conclusão

A impressão 3D, consolidada como uma das tecnologias centrais da Indústria 4.0, tem desempenhado um papel transformador no design industrial contemporâneo. Ao permitir a materialização de geometrias complexas, a personalização em massa e a prototipagem acelerada, a manufatura aditiva não apenas revoluciona processos produtivos, como também redefine os limites do pensamento projetual.

Esta revisão evidenciou que os **avanços tecnológicos** nas ferramentas de modelagem digital, algoritmos generativos e integração com sistemas inteligentes têm ampliado substancialmente as aplicações da impressão 3D, possibilitando soluções inovadoras em setores diversos, como automotivo, aeroespacial, arquitetura, moda e dispositivos médicos. A diversidade de **materiais utilizados**,

que inclui polímeros, metais, cerâmicas e compósitos, permite atender a diferentes demandas funcionais e estéticas, embora desafios ainda persistam quanto à durabilidade, estabilidade dimensional e desempenho mecânico das peças.

Do ponto de vista ambiental, a impressão 3D apresenta vantagens significativas no que se refere à sustentabilidade, especialmente pela redução de resíduos, produção sob demanda e uso crescente de materiais biodegradáveis e recicláveis. No entanto, o consumo energético de determinados processos e a ausência de regulamentações padronizadas ainda representam barreiras à sua adoção em escala industrial.

Dentre os **principais desafios**, destacam-se a necessidade de normatização, a qualificação de mão de obra especializada, a otimização dos parâmetros técnicos e a redução dos custos operacionais. Em contrapartida, as **perspectivas futuras** são promissoras, com destaque para a impressão 4D, a biofabricação, a integração com inteligência artificial e a expansão do design digital distribuído.

Assim, conclui-se que a impressão 3D representa não apenas uma inovação tecnológica, mas uma mudança de paradigma na forma de projetar, produzir e pensar objetos industriais. Para que seu potencial seja plenamente explorado, é essencial que pesquisas futuras continuem a avançar em direção à sustentabilidade, eficiência energética, desenvolvimento de novos materiais e soluções integradas que fortaleçam a convergência entre design, tecnologia e responsabilidade ambiental.

Referências

- BERMAN, B. 3D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, v. 55, n. 2, p. 155-162, 2012.
- GEBHARDT, A.; HÖTTER, J. *Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing*. Munique: Hanser Publishers, 2016.
- NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, v. 143, p. 172-196, 2018.
- GUPTA, M. K. et al. Sustainable materials in additive manufacturing: Opportunities and challenges. *Materials Today Sustainability*, v. 17, 2022.
- TORRES, J. et al. Mechanical property optimization of FDM PLA in relation to printing parameters and part orientation. *Additive Manufacturing*, v. 12, p. 240-251, 2016.
- HUANG, R. et al. Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, v. 135, p. 1559-1570, 2016.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. 3. ed. Nova York: Springer, 2021.

CHIA, H. N.; WU, B. M. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering*, v. 9, p. 1-14, 2015.

HUANG, Y.; LEU, M. C.; MAZUMDER, J. Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, v. 137, n. 1, 2015.

LIPSON, H.; KURMAN, M. *Fabricated: The new world of 3D printing*. New Jersey: Wiley, 2013.

BIKAS, H.; STAVROPOULOS, P.; CHRYSOLOURIS, G. Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 83, p. 389–405, 2016.

KRISH, S. Parametric and generative design techniques. *Computer-Aided Design*, v. 43, n. 1, p. 1–17, 2011.

ROSEN, D. W. Computer-aided design for additive manufacturing of cellular structures. *Computer-Aided Design and Applications*, v. 4, n. 5, p. 585–594, 2007.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 102, p. 214–224, 2016.

TSAI, C. C. et al. A study of topology optimization design for additive manufacturing using design generative algorithms. *Materials*, v. 13, n. 11, 2020.

BOGUE, R. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? *Assembly Automation*, v. 33, n. 4, p. 307–311, 2013.

LI, H. et al. Additive manufacturing of advanced ceramic materials. *Progress in Materials Science*, v. 113, 2020.

LI, L. et al. Emerging multifunctional materials for 3D printing and their applications in electronics and energy devices. *Nano Today*, v. 38, 2021.

ZOCCA, A. et al. Additive manufacturing of ceramics: Issues, potentialities, and opportunities. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 98, n. 7, p. 1983-2001, 2015.

YAP, Y. L. et al. Material characterisation of fibre-reinforced composites for fused deposition modelling. *Procedia CIRP*, v. 66, p. 19-24, 2017.

GEBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. Impact of 3D printing on sustainable manufacturing and logistics. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 86-102, 2014.

FORD, S.; DESPEISSE, M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 137, p. 1573-1587, 2016.

KELLENS, K. et al. Environmental impact of additive manufacturing processes: Does AM contribute to a more sustainable way of part manufacturing? *CIRP Annals*, v. 66, n. 1, p. 29–32, 2017.

ATTARAN, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, v. 60, n. 5, p. 677–688, 2017.

MELLOR, S.; HAO, L.; ZHANG, D. Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, v. 149, p. 194–201, 2014.

WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, v. 164, p. 43–56, 2015.

ASTM INTERNATIONAL. *Additive manufacturing standards*. West Conshohocken, PA, 2020. Disponível em: www.astm.org

GARRETT, B. The rise of additive manufacturing: Opportunities for education and research. *Procedia CIRP*, v. 56, p. 1–5, 2016.

MOMENI, F.; HASSANI, N. S. M.; LIU, X. A review of 4D printing. *Materials & Design*, v. 122, p. 42–79, 2017.

YAP, Y. L. et al. Material characterisation of fibre-reinforced composites for fused deposition modelling. *Procedia CIRP*, v. 66, 2017.

GEBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 86–102, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.113.

REDDY, M. S.; ALIMARDANI, M.; PANDEY, P. M. A review on monitoring and control systems in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 71, p. 633–654, 2021. DOI:10.1016/j.jmapro.2021.09.054.

KUMAR, S.; PANDEY, P. M.; NAYAK, S. Recent advancements in 3D printing of polymers: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 61, p. 277–283, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.01.082.