

Revisão da literatura sobre o uso da impressão 3D na otimização de processos de manutenção

Literature review on the use of 3D printing in optimizing maintenance processes

Walkir Nogueira de Medeiros¹
Siomara Dias da Rocha²

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da tecnologia de impressão 3D na otimização dos processos de manutenção industrial. O estudo examina como a manufatura aditiva contribui para a produção de ferramentas personalizadas, o desenvolvimento rápido de protótipos, a recuperação de componentes descontinuados e a execução ágil de reparos. A análise de pesquisas e casos práticos demonstra que a impressão 3D oferece benefícios técnicos e financeiros relevantes, favorecendo soluções mais sustentáveis, econômicas e adaptáveis às demandas operacionais. Os resultados evidenciam que essa tecnologia tem potencial para elevar a eficiência dos processos de manutenção e fortalecer a competitividade industrial.

Palavras-chave: Impressão 3D. Manutenção Industrial. Manufatura Aditiva. Prototipagem Rápida. Engenharia de Manutenção.

Abstract

This article presents a literature review on the application of 3D printing technology in optimizing industrial maintenance processes. The study examines how additive manufacturing contributes to the production of customized tools, the rapid development of prototypes, the restoration of discontinued components, and the agile execution of repairs. The analysis of research studies and practical cases demonstrates that 3D printing offers significant technical and financial benefits, promoting more sustainable, cost-effective, and adaptable solutions to operational demands. The results indicate that this technology has the potential to enhance the efficiency of maintenance processes and strengthen industrial competitiveness.

Keywords: 3D Printing; Industrial Maintenance; Additive Manufacturing; Rapid Prototyping; Maintenance

¹ Discente do Curso Superior de Engenharia Mecânica na Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (FUCAPI) – Manaus – AM – Brasil. e-mail: walkir.medeiros@gmail.com

² Docente do Curso Superior de Engenharia Mecânica na Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica (FUCAPI) – Manaus – AM – Brasil. Doutora em Química (PPGQ/UFAM). e-mail: siomararocha.quimica@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial desempenha um papel estratégico na continuidade e eficiência dos processos produtivos, uma vez que falhas inesperadas podem resultar em perdas financeiras, atrasos e comprometimento da segurança operacional. Nos últimos anos, a incorporação de tecnologias digitais tem remodelado práticas tradicionais desse campo, e entre essas inovações destaca-se a manufatura aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D. Trata-se de um processo de fabricação baseado na adição sucessiva de camadas de material, permitindo a criação de objetos complexos diretamente a partir de modelos digitais (GIBSON, ROSEN & STUCKER, 2015).

Inicialmente consolidada na prototipagem rápida, a impressão 3D evoluiu para aplicações cada vez mais robustas, alcançando produção funcional em diversos setores industriais (BOURELL et al., 2009). Sua flexibilidade possibilita a personalização de componentes, a fabricação local e sob demanda, bem como a redução significativa de desperdícios de matéria-prima. No campo da manutenção, essa tecnologia vem se destacando como alternativa viável para enfrentar desafios relacionados à obsolescência de peças, longos prazos de fornecimento e altos custos de reposição. Estudos recentes apontam reduções expressivas no tempo de parada de equipamentos quando a manufatura aditiva é incorporada ao fluxo de manutenção (SILVA & TORRES, 2020).

A relevância da discussão aumenta diante do cenário da Indústria 4.0, no qual autonomia, flexibilidade e integração digital reconfiguram as cadeias produtivas. A impressão 3D se tornou um dos pilares desse movimento ao viabilizar ciclos ágeis de criação, teste, adaptação e fabricação de componentes com alto grau de customização (GE ADDITIVE, 2021; FORD, 2019). Sua adoção tem ampliado a capacidade das empresas de responder rapidamente a demandas críticas, diminuir o tempo médio de reparo e otimizar a gestão de inventário. Embora diversas pesquisas explorem aspectos isolados da manufatura aditiva, ainda há lacunas quanto à sistematização de seu uso especificamente na manutenção industrial, sobretudo em aplicações como:

- a) desenvolvimento de ferramentas personalizadas;
- b) prototipagem rápida de novos componentes;
- c) recomposição de peças obsoletas ou descontinuadas;
- d) aceleração dos processos de reparo por meio da fabricação local.

Nesse contexto, surge o seguinte problema de pesquisa: de que forma a impressão 3D tem sido aplicada na manutenção industrial e quais benefícios técnicos, operacionais e econômicos sua adoção proporciona? A justificativa para este estudo reside no crescimento acelerado do uso da manufatura aditiva e na necessidade de reunir evidências consolidadas sobre suas contribuições. Compreender como diferentes setores têm implementado a impressão 3D no ambiente produtivo permite identificar práticas eficientes, desafios recorrentes e impactos mensuráveis. Além disso, o tema possui relevância social e econômica, uma vez que a redução de paradas, a manutenção sustentável e a reposição rápida de componentes refletem diretamente na competitividade das organizações.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo analisar, por meio de um estudo de revisão, as aplicações da impressão 3D na manutenção industrial, destacando seus usos na criação de ferramentas personalizadas, prototipagem de componentes, reposição de peças descontinuadas e otimização dos processos de reparo. Como objetivo específico, busca-se sintetizar evidências técnicas e financeiras que demonstram o potencial da tecnologia em elevar a eficiência operacional, contribuindo para a modernização das rotinas de manutenção.

A manufatura aditiva ocupa posição central nas discussões contemporâneas sobre inovação na manutenção industrial, justificando a necessidade de estudos que sistematizem avanços, limitações e oportunidades para sua adoção. É a partir dessa perspectiva que se desenvolve o presente artigo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Contextualização da manutenção industrial por meio da impressão 3D

A manufatura aditiva amplamente conhecida como impressão 3D consiste em um processo de fabricação baseado na deposição sucessiva de camadas de material a partir de um modelo digital. Diferentemente dos métodos tradicionais de usinagem, que removem material para alcançar a forma final, a impressão 3D permite fabricar geometrias complexas, reduzir desperdícios e ampliar a flexibilidade produtiva (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

Segundo Bourell et al. (2009), a manufatura aditiva deixou de ser utilizada exclusivamente para prototipagem rápida e passou a ocupar espaço relevante na produção de componentes funcionais. Entre suas principais vantagens destacam-se a personalização, a fabricação sob demanda e a redução da dependência de fornecedores externos — fatores estratégicos para ambientes industriais altamente dinâmicos.

No contexto da manutenção industrial, a impressão 3D surge como resposta eficaz a desafios recorrentes, como obsolescência de componentes, custos elevados de reposição e longos prazos de fornecimento. De acordo com Silva e Torres (2020), empresas que integram a manufatura aditiva em rotinas de manutenção relatam reduções de até 70% no tempo de parada de equipamentos, fortalecendo a confiabilidade operacional e a disponibilidade dos ativos.

2. Aplicações da impressão 3D na manutenção industrial

A tecnologia de impressão 3D por extrusão de termoplásticos (FDM) é atualmente a mais difundida para a reposição de componentes e fabricação de dispositivos auxiliares. A variedade de polímeros disponíveis — como ABS, PET, policarbonato e nylon — amplia as possibilidades de uso, embora a Engenharia de Manutenção deva avaliar requisitos de resistência mecânica, térmica e desgaste antes da substituição de peças metálicas por equivalentes poliméricos.

Os modelos CAD representam outro elemento essencial do processo. Como muitos fabricantes não disponibilizam arquivos originais, equipes de engenharia recorrem à modelagem própria ou à engenharia reversa. Tal necessidade, embora inicialmente pareça um entrave, frequentemente resulta em melhorias estruturais, otimização do design e adaptação do componente ao material escolhido.

2.1 Exemplos de aplicação em empresas

A seguir, apresentam-se nas Tabelas 1 e 2, casos de empresas que incorporam a impressão 3D em suas operações de manutenção industrial, destacando tecnologias utilizadas e benefícios obtidos.

Tabela 1 – Aplicações e tecnologias utilizadas.

Empresa	Aplicação Principal	Tecnologia Utilizada
Bosch (Portugal)	Peças sobressalentes para linhas de produção	FDM
Siemens Energy (Alemanha)	Reparo de turbinas a gás	Impressão 3D metálica

Volkswagen (Alemanha)	Reposição para robôs industriais	SLS (Nylon)
Ypê (Brasil)	Peças de reposição	FDM com Nylon + Fibra de Carbono

Próprio Autor, 2025.

Tabela 2 – Benefícios observados.

Empresa	Redução de Tempo	Economia Financeira	Outros Benefícios
Bosch	De semanas para 48h	–	Menor parada produtiva
Siemens Energy	Até 90%	Milhões poupados	Recuperação de peças críticas
Volkswagen	–	–	Flexibilidade e autonomia
Ypê	–	R\$ 150.000,00	Redução do MTTR

Fonte: Próprio Autor, 2025.

2.2 Impressão 3D na Indústria 4.0

A manufatura aditiva integra o conjunto de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, caracterizada pela automação avançada, integração digital e alto grau de autonomia produtiva. Impressão 3D, sistemas ciberfísicos, IoT e automação inteligente formam um ecossistema capaz de transformar modelos industriais tradicionais.

A consolidação da impressão 3D ao longo das últimas décadas foi fortemente impulsionada pela Stratasys, pioneira na tecnologia FDM desde 1988. A evolução de impressoras desktop para soluções industriais de grande porte viabilizou ambientes produtivos mais flexíveis e autônomos.

Exemplo disso é a Ford, que utiliza sistemas robotizados — como o robô Javier, da KUKA — para operar impressoras 3D na fabricação de dispositivos ergonômicos, instrumentos de medição e conjuntos de pinças para robôs industriais (FORD, 2019).

2.3 Ferramentas de manutenção personalizadas

A produção de ferramentas sob medida é uma das aplicações mais estratégicas da impressão 3D. Com softwares CAD, as equipes desenvolvem instrumentos adaptados a intervenções específicas, aprimorando ergonomia, segurança e eficiência.

Segundo a GE Additive (2021), ferramentas customizadas reduzem o esforço manual, diminuem riscos de acidentes e tornam processos de manutenção mais rápidos e padronizados. A Ford também se destaca nessa área, utilizando impressão 3D para produzir dispositivos ergonômicos de grande escala, tanto em plástico quanto em metal.

2.4 Prototipagem rápida de novos componentes

A prototipagem rápida é uma das aplicações mais consolidadas da manufatura aditiva. Antes dominada pela usinagem, era um processo lento e oneroso. A impressão 3D reduziu tempos, custos e complexidade, permitindo testes funcionais ágeis.

De acordo com o *Wohlers Report* (2023), 66% das empresas utilizam impressão 3D para protótipos funcionais. A Siemens (2022) relata que, em uma empresa de mineração, o tempo de desenvolvimento de válvulas para sistemas de fluxo foi reduzido em 85% graças ao uso da tecnologia aditiva.

2.5 Manutenção de equipamentos antigos e descontinuados

A falta de disponibilidade de peças para equipamentos antigos representa um dos maiores desafios da manutenção. A combinação de engenharia reversa e impressão 3D permite digitalizar, recriar e otimizar componentes obsoletos. A Deutsche Bahn (2020) emprega essa abordagem para manter sua frota de trens clássicos, prolongando a vida útil dos ativos e reduzindo descarte. No Brasil, empresas como Petrobras e Ocyan utilizam impressão 3D em plataformas offshore para reposição emergencial de componentes críticos, reduzindo dependência logística (DNV, 2021). A Unicamp também aplica a tecnologia em projetos de pesquisa relacionados à simulação de reservatórios de petróleo.

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza descritivo-exploratória, fundamentada em pesquisa bibliográfica e documental. O objetivo central é analisar a aplicação da impressão 3D na manutenção industrial a partir de estudos, relatórios técnicos e

casos reais. Foram consultadas bases científicas como IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, além de relatórios especializados, como o Wohlers Report (2023) e o State of 3D Printing Report (2022). Documentos técnicos de empresas como GE Additive, Siemens, DNV, Stratasys, Ford e outros complementaram a análise.

A amostragem é não probabilística e intencional, selecionando materiais publicados entre 2009 e 2024 que tratam de impressão 3D aplicada à manutenção, reposição de peças, engenharia reversa e melhoria operacional.

A coleta de dados ocorreu em três etapas:

- (a) levantamento inicial de fontes;
- (b) seleção criteriosa de materiais relevantes;
- (c) extração e categorização por temas (tecnologias, materiais, aplicações, benefícios e limitações).

A análise dos dados seguiu abordagem qualitativa, envolvendo categorização, comparação entre estudos e síntese interpretativa. Quadros, tabelas e gráficos ilustrativos foram elaborados com apoio de Excel, Power BI e Canva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos dados obtidos por meio de relatórios técnicos, estudos de caso e publicações científicas permitiu identificar benefícios expressivos da manufatura aditiva na manutenção industrial, bem como limitações que ainda desafiam a plena adoção dessa tecnologia. Os resultados foram organizados em eixos temáticos que refletem os principais achados da pesquisa.

4.1 Redução de custos operacionais

Os dados analisados evidenciam que a impressão 3D contribui de forma significativa para a diminuição dos custos de fabricação e manutenção. A AmBev registrou redução de aproximadamente 45% nos gastos de produção ao substituir processos tradicionais por manufatura aditiva. A Gate3D, por sua vez, relatou economia de até 30%, principalmente pela eliminação de moldes e pelo menor desperdício de material.

Esses achados convergem com a literatura, que destaca o potencial econômico da impressão 3D em ambientes industriais, especialmente devido à redução de etapas intermediárias e ao uso mais eficiente de insumos (RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ et al., 2023).

4.2 Agilidade na prototipagem e no desenvolvimento de produtos

A rapidez é um dos diferenciais mais presentes nos estudos analisados. A Gate3D reduziu o ciclo de desenvolvimento de protótipos para cerca de três dias, enquanto Galanta e GTMax3D também relataram avanços expressivos no tempo de resposta para testes e validações.

Esses resultados corroboram pesquisas que evidenciam a impressão 3D como ferramenta essencial para o desenvolvimento ágil de produtos, permitindo a criação de protótipos funcionais em curto prazo e com menor dependência de fornecedores externos (KIM et al., 2018).

4.3 Personalização e flexibilidade produtiva

A capacidade de fabricar peças sob medida é uma das principais vantagens identificadas. A Wishbox demonstra habilidade para produzir componentes personalizados em grandes quantidades, sem impacto significativo em tempo ou custo. Da mesma forma, a UseFixIt utiliza a tecnologia para criar ferramentas customizadas para manutenção industrial. De acordo com Wohlers (2019), a personalização em massa representa um dos pilares mais fortes da manufatura aditiva, alinhando-se à tendência global de produção flexível e orientada ao cliente.

4.4 Sustentabilidade e uso eficiente de recursos

A preocupação com práticas produtivas sustentáveis tem impulsionado o uso da impressão 3D. A Gate3D destaca a redução de desperdício como um dos principais benefícios, enquanto a 3D Systems reforça o foco na reutilização de materiais e na eficiência energética de seus processos. Esses resultados confirmam análises teóricas que apontam a manufatura aditiva como rota promissora para minimizar impactos ambientais, ao otimizar o uso de materiais e ampliar a possibilidade de reciclagem (GEBLER; SCHOOT UITERKAMP E VISSER, 2014).

4.5 Limitações identificadas

Apesar dos benefícios, a pesquisa evidenciou desafios importantes:

- **Restrita variedade de materiais industriais**, especialmente metálicos de alta performance;
- **Limitações no acabamento superficial**, exigindo pós-processamento;
- **velocidade ainda inferior a métodos tradicionais** para produção em larga escala;
- **Custo elevado de máquinas industriais** em alguns segmentos.

Esses pontos são amplamente discutidos na literatura e reforçam a necessidade de avanços tecnológicos contínuos, sobretudo em materiais, softwares e equipamentos.

4.6 Análise gráfica dos dados

O gráfico baseado nos dados do *State of 3D Printing Report (Sculpteo, 2022)* mostra a predominância das seguintes aplicações da impressão 3D na manutenção industrial:

- Prototipagem rápida (uso mais frequente);
- Fabricação sob demanda;
- Reposição de peças obsoletas;
- Produção de ferramentas e dispositivos de manutenção.

Esses resultados demonstram a maturidade crescente da tecnologia, especialmente em setores que valorizam eficiência, confiabilidade e redução de tempo de parada. Relatórios internacionais projetam crescimento médio anual de 20% para aplicações. A comparação entre os dados coletados e os estudos existentes evidencia forte convergência entre:

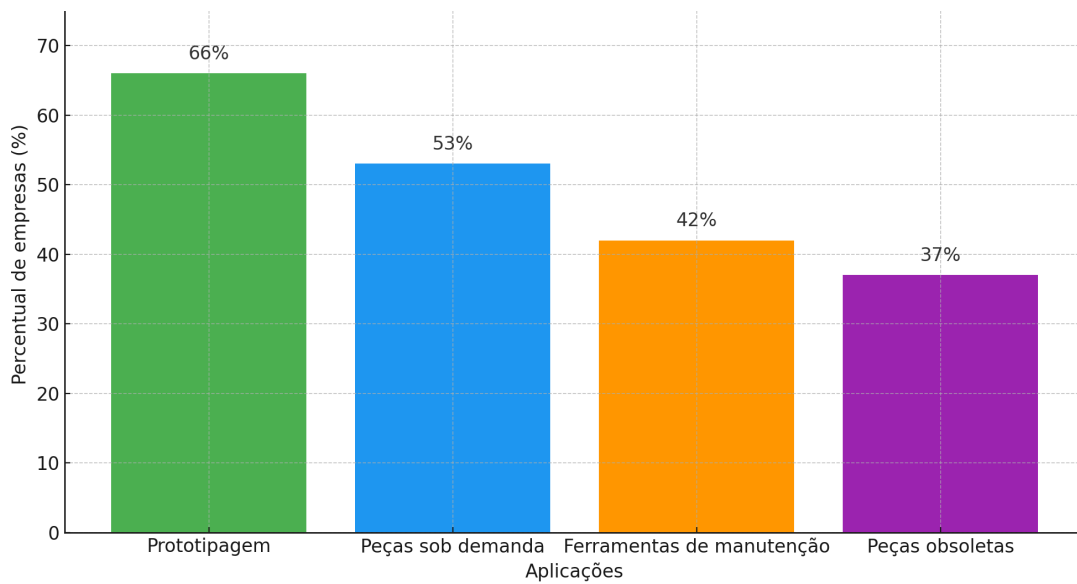
- Práticas adotadas pelas empresas analisadas,
- Benefícios citados por autores clássicos da área,
- Tendências apontadas por relatórios globais.

A literatura confirma que a manufatura aditiva:

- Reduz custos operacionais,
- Acelera o ciclo de desenvolvimento,
- Amplia a flexibilidade produtiva,
- Contribui para sustentabilidade, mas ainda enfrenta barreiras de escala e materialidade.

Essa integração fortalece a consistência dos resultados e sustenta a relevância do tema para pesquisas futuras e para a evolução tecnológica do setor industrial. A Figura 1 representa os dados do relatório da Sculpteo (2022) sobre o uso da impressão 3D na manutenção industrial. Ele reforça visualmente a predominância da prototipagem e da fabricação sob demanda, além de destacar a importância da impressão 3D na reposição de peças obsoletas e na produção de ferramentas de manutenção.

Figura 1. Uso da Impressão 3D na Manutenção Industrial.



Fonte: Próprio Autor, 2025.

Esses dados refletem a maturidade da tecnologia, especialmente em indústrias que priorizam eficiência e tempo de resposta. A tendência é de crescimento, com projeções indicando expansão de 20% ao ano para aplicações industriais até 2027 (Wohlers Report, 2023).

Além da interpretação gráfica apresentada anteriormente, a análise integrada entre relatórios industriais e literatura científica permite aprofundar a compreensão sobre como a manufatura aditiva tem sido adotada, consolidada e projetada como tecnologia estratégica nos ambientes de manutenção industrial. Esse aprofundamento possibilita identificar padrões entre diferentes autores, reforçar tendências e evidenciar lacunas ainda presentes na pesquisa e na aplicação prática. A seguir, apresenta-se no Quadro 1 o comparativo que sintetiza os principais estudos, destacando suas contribuições, alinhamentos e divergências teóricas.

Quadro 1 – Comparativo entre Autores, Ano e Principais Contribuições sobre a Manufatura Aditiva na Manutenção Industrial

Autor(es)	Ano	Contribuição Principal	Relação com os Resultados do Estudo
Rodríguez-González et al.	2023	Evidenciam redução significativa de custos devido à eliminação de etapas intermediárias e uso eficiente de insumos.	Converge com os resultados da AmBev e Gate3D, que mostram redução de 30–45% nos custos operacionais.
Kim et al.	2018	Destacam o papel da impressão 3D na prototipagem rápida, agilizando ciclos de desenvolvimento e testes.	Corroboram os dados da Gate3D, Galanta e GTMax3D, que relataram aceleração no desenvolvimento de protótipos.
Wohlers	2019	Enfatiza a personalização em massa como pilar central da manufatura aditiva e vetor de transformação industrial.	Confirma as práticas da Wishbox e UseFixIt, que criam peças personalizadas em escala sem aumento de custos.
Gebler, Schoot Uiterkamp e Visser	2014	Apontam benefícios ambientais, como redução de desperdícios e potencial de economia circular.	Relaciona-se à redução de resíduos relatada pela Gate3D e práticas sustentáveis da 3D Systems.
Sculpteo (State of 3D Printing Report)	2022	Mapeia aplicações industriais predominantes: prototipagem, reposição de peças e ferramentas de manutenção.	Os resultados empíricos confirmam exatamente essas categorias como as mais frequentes no setor industrial.
Wohlers Report	2023	Projeta crescimento médio anual de 20% para aplicações industriais de impressão 3D até 2027.	Sustenta o potencial de expansão identificado no estudo e reforça a maturidade crescente da tecnologia.

Fonte: Próprio Autor, 2025.

A comparação evidencia forte convergência entre a literatura especializada e os resultados empíricos, reforçando que a manufatura aditiva é hoje um vetor de eficiência operacional, inovação e sustentabilidade no ambiente industrial. As contribuições dos autores selecionados complementam as evidências práticas, mostrando que redução de custos, personalização e agilidade não são casos isolados, mas tendências estruturais consolidadas.

No entanto, o conjunto dos estudos também destaca barreiras persistentes – como limitação de materiais e dependência de pós-processamento – que precisam ser superadas para que a tecnologia alcance maturidade total em larga escala. Assim, o diálogo entre teoria e prática demonstra que a impressão 3D já exerce impacto transformador, mas sua evolução tecnológica contínua permanece condição essencial para ampliar seu alcance industrial.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstra que a manufatura aditiva atende aos objetivos propostos ao evidenciar seu impacto na eficiência, flexibilidade e sustentabilidade dos processos de manutenção industrial. O estudo confirma que a tecnologia consolida novas possibilidades de produção, especialmente na redução de tempos, custos e dependências externas. As análises permitem afirmar que a hipótese inicial de que a impressão 3D potencializa a modernização da manutenção industrial se confirma. O trabalho apresenta contribuições teóricas ao estruturar um panorama atualizado das aplicações e contribuições práticas ao evidenciar cenários reais de adoção. Reconhece-se, contudo, a limitação relacionada à disponibilidade restrita de materiais e à necessidade de avanços em escala produtiva. Recomenda-se que estudos futuros explorem métricas mais amplas e avaliações longitudinais sobre o desempenho industrial dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

- AMBEV. *Ambev utiliza impressão 3D para acelerar projetos e reduzir custos de produção*. 2021. Disponível em: <https://www.ambev.com.br/>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- BOURELL, D. et al. *Roadmap for Additive Manufacturing: Identifying the Future of Freeform Processing*. Austin: University of Texas, 2009. Disponível em: <https://repositories.lib.utexas.edu/>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- DEUTSCHE BAHN. *3D printing at Deutsche Bahn: spare parts, tools and components on demand*. 2020. Disponível em: <https://www.bahn.de/>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- DNV. *Additive Manufacturing for the Oil & Gas Industry*. 2021. Disponível em: <https://www.dnv.com/>. Acesso em: 01 dez. 2025.
- FORD MOTOR COMPANY. *Ford and 3D Printing: Advancing Tools and Production with Additive Manufacturing*. 2019. Disponível em: <https://corporate.ford.com/>. Acesso em: 20 out. 2025.
- GBLER, M.; SCHOOT UITERKAMP, A. J. M.; VISSER, C. *A global sustainability perspective on 3D printing technologies*. Energy Policy, v. 74, p. 158–167, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GE ADDITIVE. *Additive Manufacturing Applications in Industrial Maintenance*. 2021. Disponível em: <https://www.ge.com/additive>. Acesso em: 02 dez. 2025.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2. ed. New York: Springer, 2015.

KIM, H.; PARK, S.; LEE, J. *Rapid prototyping in industrial product development*. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 47, p. 35–46, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 11 out. 2025.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, D. et al. *Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: A Review of Economic and Operational Impacts*. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 92, p. 120–137, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SCULPTEO. *State of 3D Printing Report*. 2022. Disponível em: <https://www.sculpteo.com/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SIEMENS. *Additive Manufacturing for Industrial Equipment: Case Studies and Applications*. 2022. Disponível em: <https://www.siemens.com/>. Acesso em: 02 dez. 2025.

SILVA, R.; TORRES, L. *Aplicações da manufatura aditiva na manutenção industrial: estudo de casos em empresas brasileiras*. *Revista IPT*, v. 4, n. 1, p. 22–38, 2020. Disponível em: <https://revista.ipt.br/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

STRATASYS. *History of FDM Technology*. 2020. Disponível em: <https://www.stratasys.com/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

WOHLERS ASSOCIATES. *Wohlers Report 2019: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry*. Fort Collins: Wohlers Associates, 2019.

WOHLERS REPORT. *Wohlers Report 2023*. Colorado: Wohlers Associates, 2023.