

Observatório
Nacional da
Indústria

Impressão

3D de Metais

MUDANDO O PARADIGMA DA PRODUÇÃO DE BENS E SERVIÇOS

CNI Confederação
Nacional
da Indústria

SESI Serviço
Social
da Indústria

SENAI Serviço Nacional
de Aprendizagem
Industrial

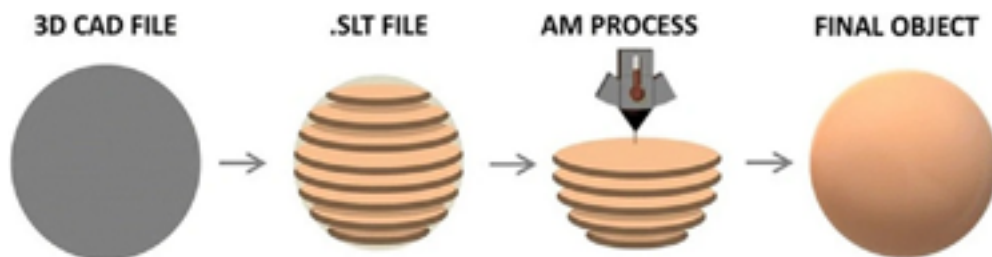
IEL Instituto
Euvaldo
Lodi

Folha de Fato

A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é um processo de união de materiais para a criação de objetos a partir de modelos 3D, geralmente adicionando camada sobre camada de materiais, em oposição a dados subtrativos das metodologias tradicionais de fabricação.

Processo esquemático de obtenção de uma peça

Fonte: Ghilan et. all. 2020 (adaptado)



A impressão 3D, ou manufatura aditiva, é a grande inovação na produção de objetos, quer sejam metálicos ou não, que está provocando mudanças rápidas no mercado em geral. Em praticamente todo setor surgem aplicações da tecnologia 3D, tais como: aeroespacial, automobilístico, construção civil, medicina, moda, joias etc.

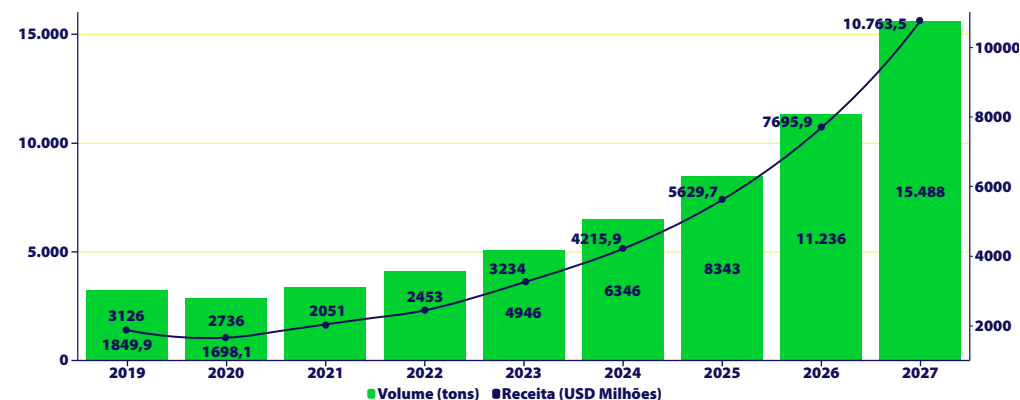
Os produtos gerados na impressão 3D são customizados, de forma simples ou complexa, a partir de materiais diversos (polímeros, metais e outros), mais leves comparativamente com outros processos, além de apresentarem boa qualidade e boa resistência mecânica, redução de custo de fabricação etc. Entre os principais processos de produção de manufatura aditiva de metais, estão: Fused Deposition Modelling (FDS), Direct Ink Writing (DIW), Inkject Printing (IP), Digital Light Printing (DLP) e Stereolithography (SLA).

As receitas e as demandas por essa tecnologia têm movimentado o cenário global, tendo a China, os Estados Unidos e o Japão como grandes players nessa área.

A demanda global avaliada em 2019 foi de 1848,9 tons e espera-se um crescimento de até 10.763,5 tons, um CAGR de 24,6% (Compound Annual Growth Rate - Taxa de Crescimento Anual Composta), considerando de 2019 até 2027. Em termos de receita, o mercado foi avaliado em USD 312,6 milhões, em 2019, e prevê-se que alcance USD 1548,8 milhões até 2027, com um CAGR de 22,1% no mesmo período.

Mercado e Projeção de Crescimento da I3D de Metais [Mundo]

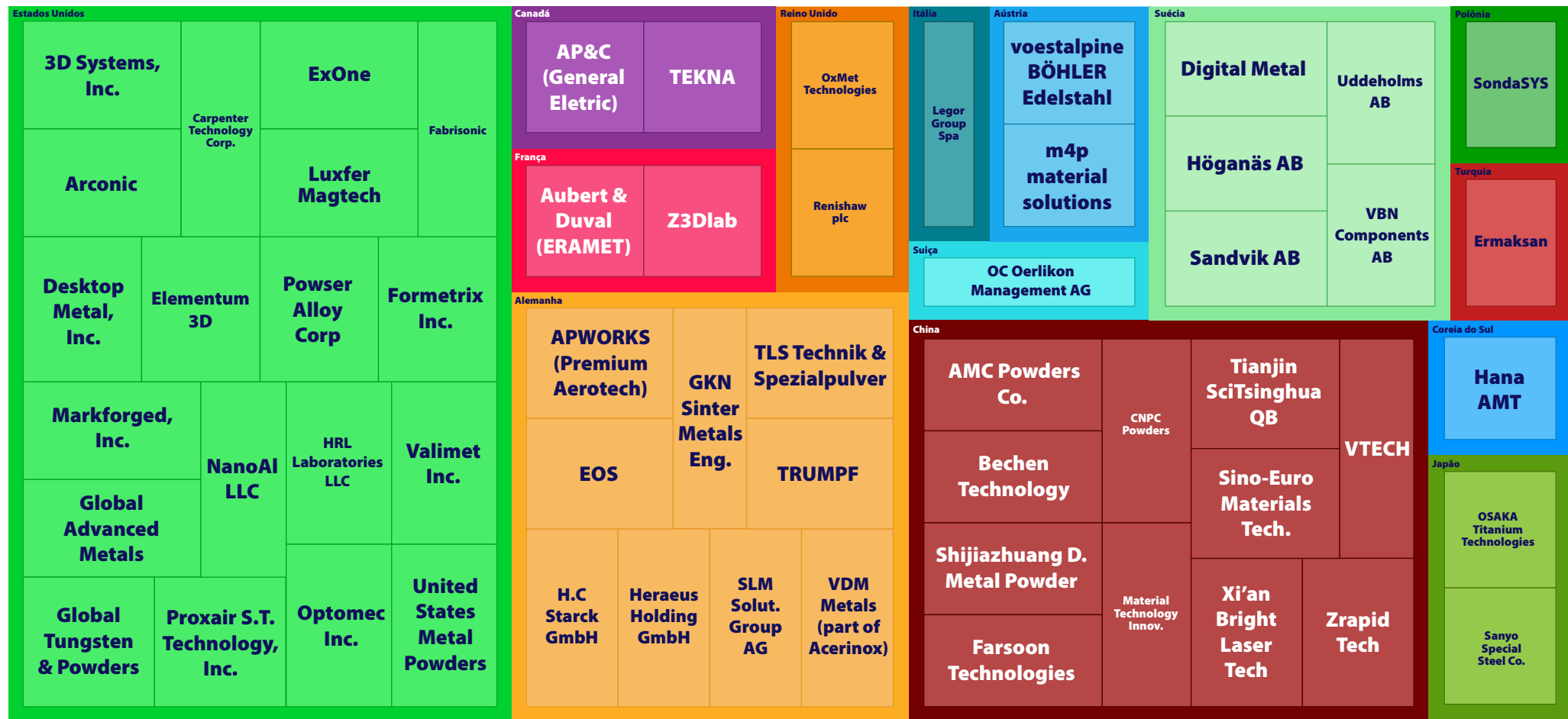
Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



A introdução da impressão 3D está resultando em benefícios significativos, como economia de custos e maior flexibilidade na fabricação de peças. A cadeia de valor no ecossistema da manufatura aditiva é constituída pelos fornecedores de materiais, provedores de equipamentos, empresas de software, fluxo de materiais e de informações, chegando ao consumidor final pela entrega de produtos e serviços.

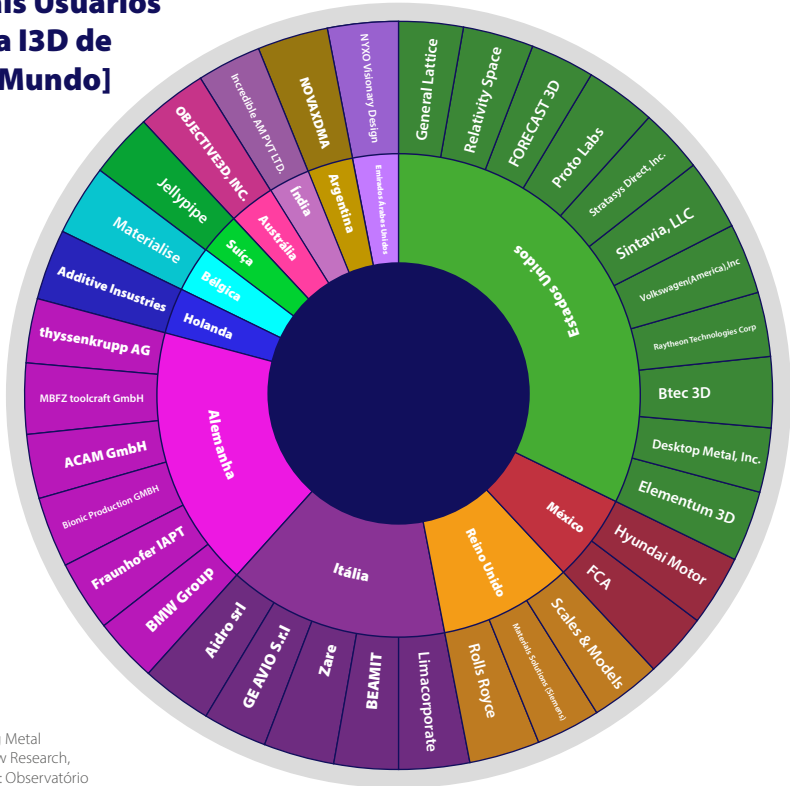
Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais [Mundo]

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



Diversas indústrias têm demonstrado um interesse crescente na adoção de tecnologias de impressão 3D. Setores como o aeroespacial, automobilístico, da construção civil e da medicina estão aprimorando seus produtos e otimizando seus processos de produção por meio dessa inovação tecnológica.

Principais Usuários Finais da I3D de Metais [Mundo]



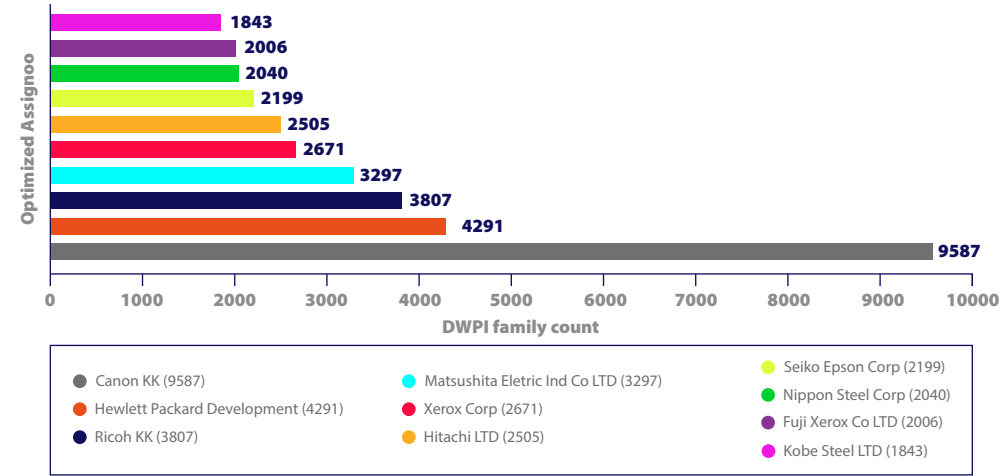
Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

A produção orientada por aplicações está ganhando força, à medida que todos os conceitos de fábrica são orientados por aplicações. Espera-se que essa estratégia de tendências digitalize a produção industrial, incluindo a otimização de impressoras 3D industriais, periféricos e pós-processamento. Além disso, o mercado de Manufatura Aditiva testemunha mais investimentos no espaço de sustentabilidade, apoiando a tendência atual para um ecossistema amigo do ambiente.

As empresas multinacionais se apresentam como principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais. Verifica-se que entre os dez maiores, encontram-se multinacionais como: Canon, Seiko, Hewlett Packard e a Xerox.

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais

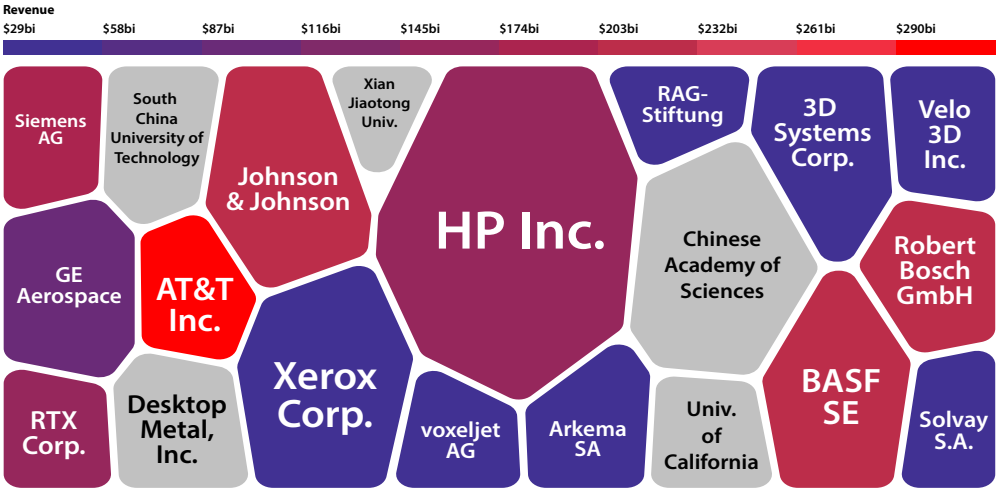
Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



Outro aspecto interessante é sobre os depositantes de patente de impressão 3D e sua receita. Entre os principais players estão empresas como HP, Xerox, GE Aerospace, BASF, Bosch e Johnson & Johnson. Além disso, algumas universidades, como a University of California, South China University of Technology e Xian Jiaotong University, também se destacam nesse campo.

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais x Receita

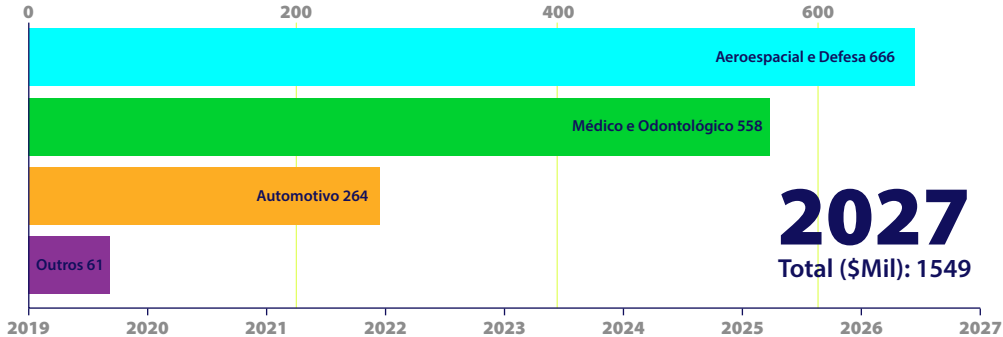
Fonte: Innography (Clarivate)



Os setores de aviação e saúde são os dois maiores mercados para a impressão 3D em metais, tanto em termos de receita quanto de volume. A previsão é que esses dois setores mantenham suas posições até 2027.

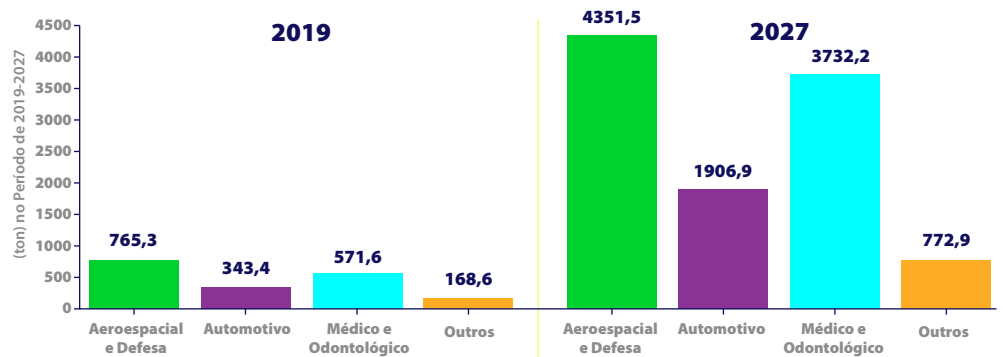
Mercado e Projeção de Crescimento (\$Mil) por Setor da I3D de Metais [Mundo]

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria - Período: 2019 à 2027



Mercado e Projeção de Crescimento Global em Volume (ton) por Setor [Mundo]

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



As empresas fornecedoras de serviços de impressão 3D no Brasil possuem atuação diversa, como: software, impressoras 3D, consultoria, modelagem e cursos.

Empresas que atuam na Área de I3D [Brasil]

Fonte: Pesquisa Desk - Elaboração Observatório Nacional da Indústria.

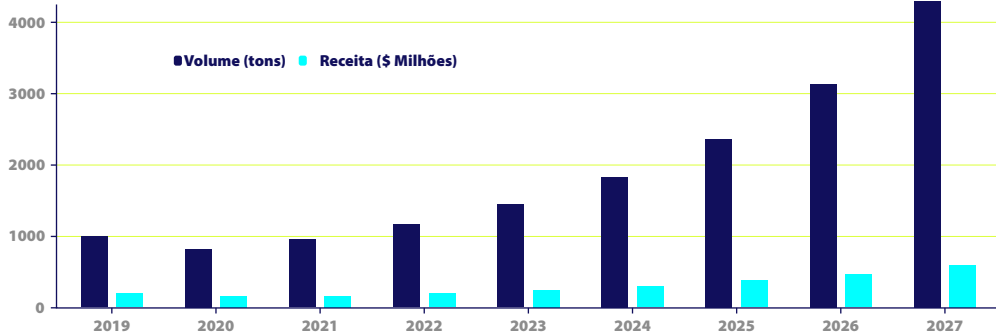
Consultoria			Serviços		Equipamentos		
Magis Tecnologia		3D Criar	Versolid	PolyWorks	3D systems	AMS	SKA
3D Print Consultoria		OTTO3D					
TOEM3D	LWT sistemas	Koios Consultoria	Reboot3D	Printup3D	Processos		
					Renishaw	TRUMPF	Siemens

Em termos de receita, o Brasil registrou USD 171 milhões em 2019, com expectativa de alcançar USD 572 milhões em 2027. O mercado no Brasil pode crescer em um CAGR de 11,6% em receita e de 14,4% em volume.

O Núcleo de Pesquisa em Manufatura Aditiva de Metais foi lançado no *campus* do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para desenvolver a cadeia produtiva de manufatura aditiva de metais a partir do enfrentamento de gargalos tecnológicos ainda existentes em cada etapa da cadeia.

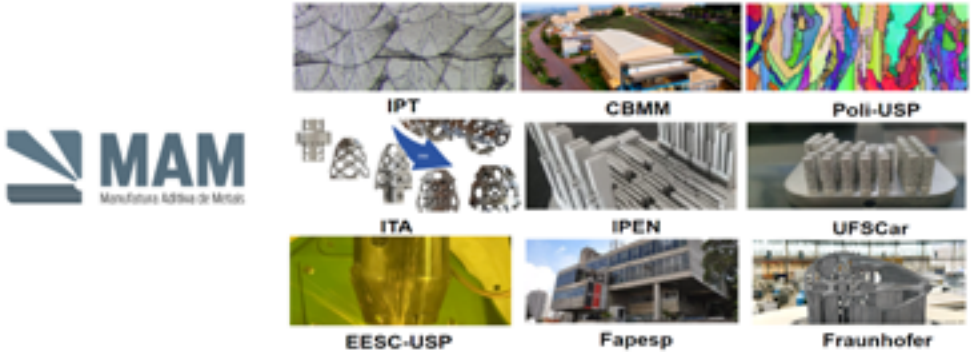
Mercado e Projeção de Crescimento do Mercado de I3D [Brasil]

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021)- Elaboração: Observatório Nacional da Indústria - Período: 2019 à 2027

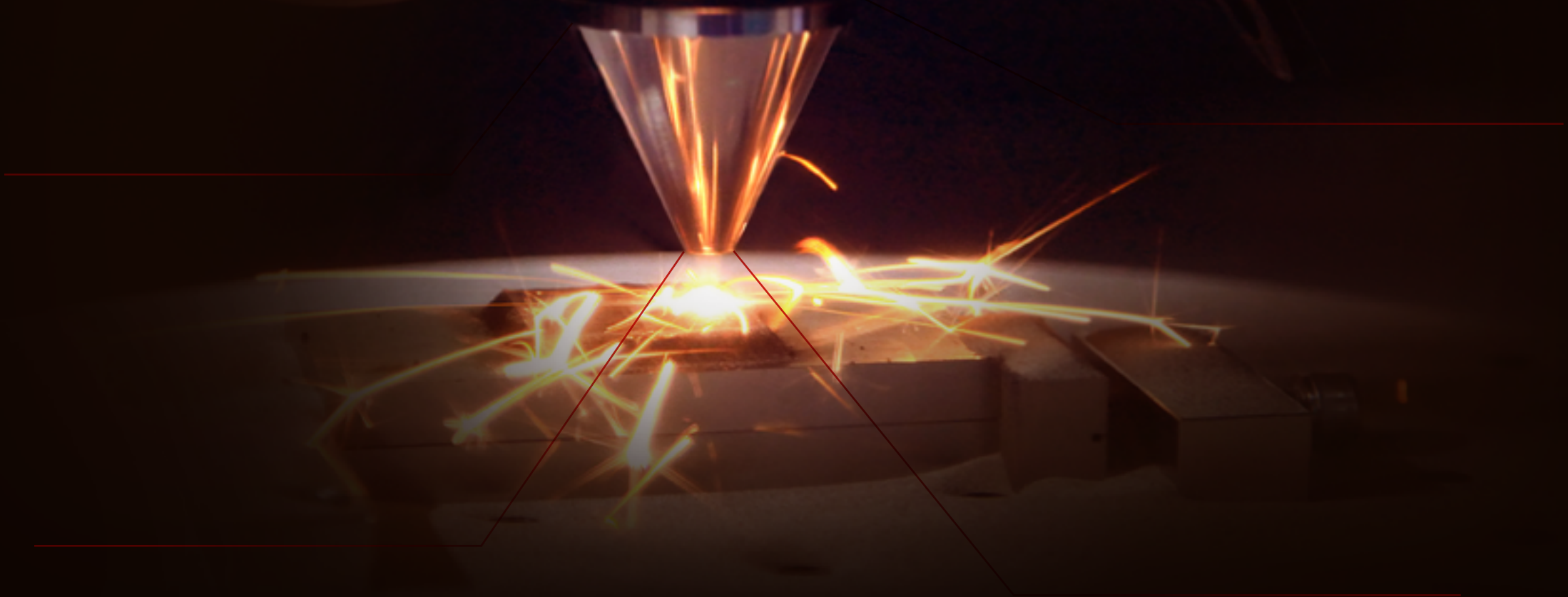


No Brasil, as aplicações começam a tomar fôlego, sendo centros de pesquisas, universidades e grandes empresas as propulsoras desse movimento.

ICTs que fazem parte da Rede MAM



SUMÁRIO



Lista de Figuras

Impressão 3D de Metais

1. Caracterização da Tecnologia

A tecnologia de impressão 3D está sendo considerada uma revolução dentro das organizações em geral, pois traz impactos em diversas áreas, como empresas, seus fornecedores e o próprio mercado. As aplicações estão acontecendo em diferentes ramos de atividades, abrangendo tanto a manufatura quanto os serviços.



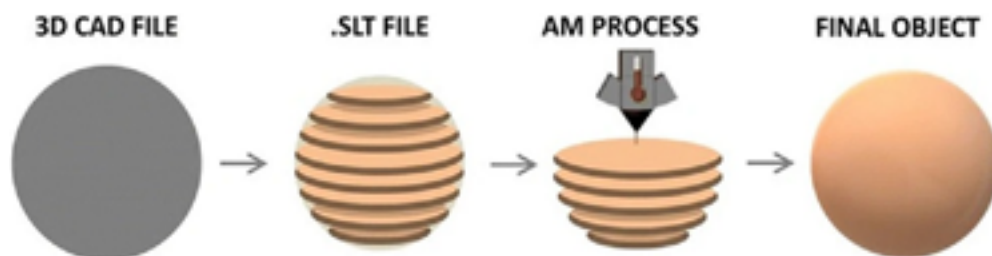
1.1. Introdução

Os aspectos sustentáveis da impressão 3D, como menos desperdício de material, menos pós-processamento e muito menos custos, mesmo para a fabricação de peças complexas, fazem da impressão 3D uma tecnologia do futuro. Os outros aspectos sustentáveis incluem o potencial da impressão 3D para reutilizar materiais, reciclar e reduzir emissões. A tecnologia também é capaz de produzir projetos com geometrias complexas e otimizadas, que auxiliam no desenvolvimento de peças com leveza e melhor relação resistência/peso (**Figura 1**).

Fig.
01

Processo esquemático de obtenção de uma peça

Fonte: Ghilan et. al. 2020 (adaptado)



1.2. Função da Tecnologia

O mercado de máquinas de processamento de metais envolve a fabricação e venda de equipamentos como máquinas-ferramentas de corte e conformação de metais, acessórios de máquinas-ferramentas, máquinas de trefilação de metais, montagem de máquinas, fabricação de máquinas, moldagem e processamento de metais, equipamentos para prensagem, matrizes especiais, ferramentas e dispositivos.

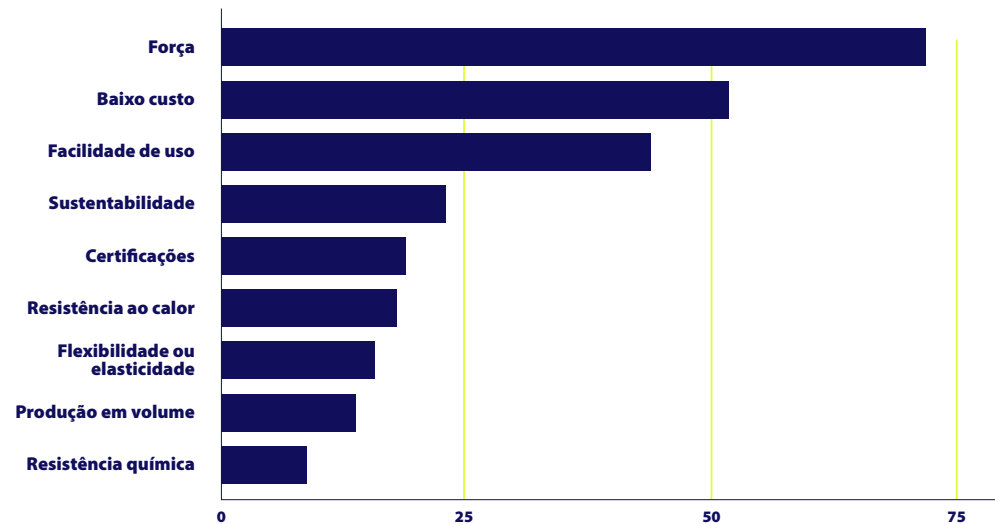
O valor neste mercado é determinado pelos produtos vendidos diretamente pelos fabricantes, sem a intervenção de outras entidades como fornecedores de manufaturados, atacadistas, distribuidores e varejistas. Esse valor também inclui os serviços vendidos pelos criadores dos produtos. A impressão 3D tornou-se um tópico de grande interesse no campo da tecnologia, dada a sua capacidade de acelerar processos que antes eram demorados, como a construção de uma casa. Diversas indústrias, incluindo esse aeroespacial, automobilística, construção civil, medicina e alimentícia, demonstraram interesse significativo na adoção de tecnologias de impressão 3D. Essas indústrias estão utilizando a impressão 3D para melhorar seus produtos e agilizar seus processos de produção.

Fig. 02

Uma questão a ser colocada é que características dos materiais levam as empresas a escolherem a impressão 3D. **A Figura 2** fornece a resposta a essa questão.

Características para escolha da impressão 3D

Fonte: 3D Printing Statistics (2023 Additive Manufacturing Data)



A produção orientada por aplicações está se tornando cada vez mais predominante, com todos os conceitos de fábrica sendo direcionados por aplicações. Essa tendência está digitalizando a produção industrial, incluindo a otimização de impressoras 3D industriais, periféricos e pós-processamento. Além disso, o mercado de manufatura aditiva está vendo um aumento nos investimentos voltados para a sustentabilidade, apoiando a tendência atual para um ecossistema mais amigável ao meio ambiente.

A cadeia de valor no ecossistema da manufatura aditiva, como ilustrado na **Figura 3**, inclui fornecedores de materiais, provedores de equipamentos, empresas de software e o fluxo de materiais e informações, culminando na entrega de produtos e serviços ao consumidor final.

Cadeia de valor e o ecossistema da manufatura aditiva

Fonte: A Closer Look at the 3D Printing State of the Market. (Adaptada)

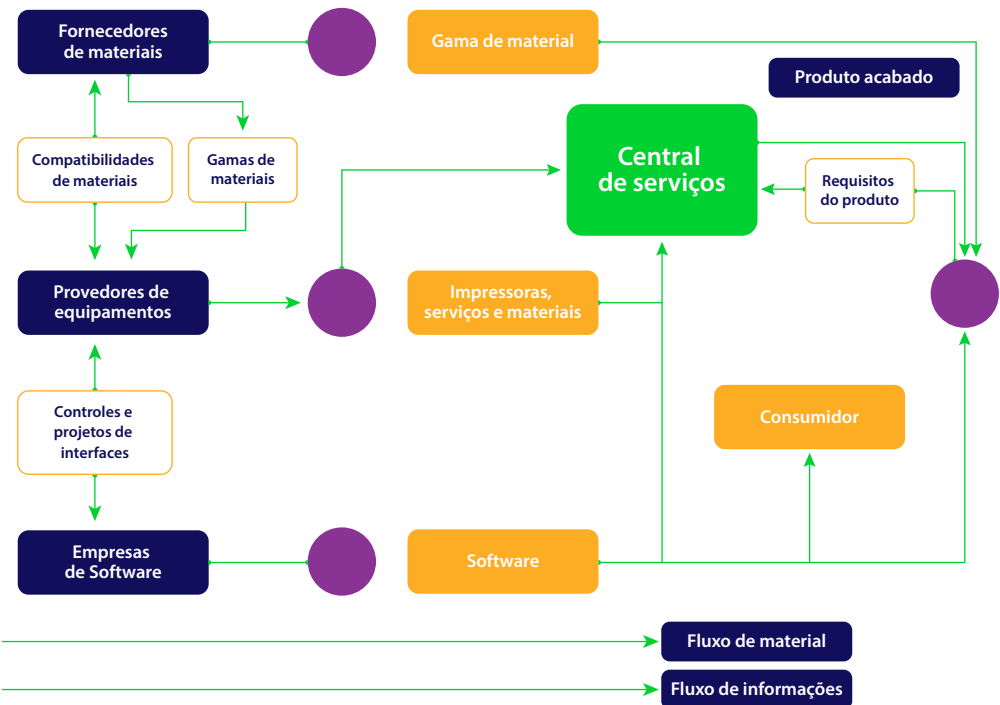


Fig. 03

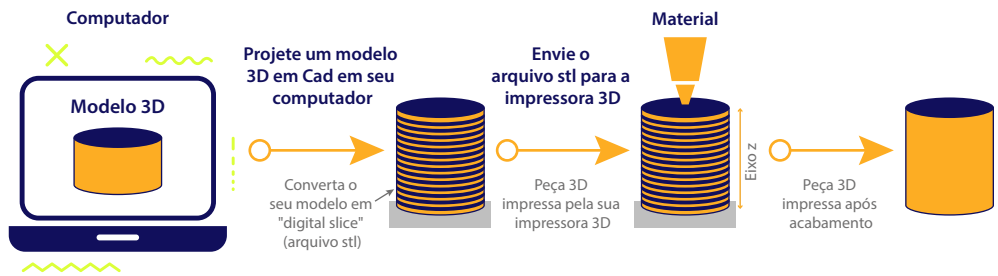
1.3. Requisitos para funcionamento da Tecnologia

A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é um processo de união de materiais para fazer objetos a partir de modelo 3D, geralmente adicionando camada sobre camada de materiais (**Figura 4**), em oposição a dados subtrativos das metodologias tradicionais de fabricação. Esse tipo de abordagem de fabricação (impressão 3D) pode dar à indústria nova flexibilidade de design, reduzir uso de energia e reduzir o tempo de lançamento de produtos no mercado.

Fig. 04

Processo layer by layer da Impressão 3D

Fonte: Fine Metal Working



Os dois principais parâmetros de qualquer processo AM de metal são o tipo de matéria-prima de entrada material e a fonte de energia usada para formar a peça. Matéria-prima de entrada pode ser utilizada na forma de pó metálico ou fio, enquanto feixe ou arco de laser/elétrons podem ser usados como fonte de energia (**Figura 5**).

Parâmetros do processo AM

Fonte: 3D Metal Printing Technology (Duda e Raghavan, 2016). (Adaptação)

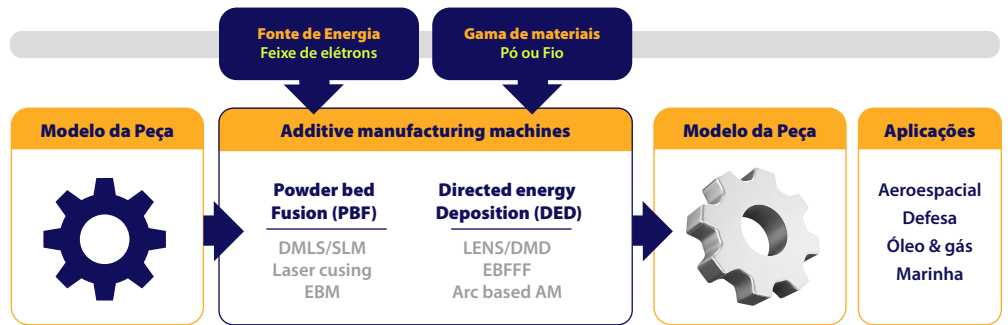


Fig. 05

1.4. Gartner Hype Cycle

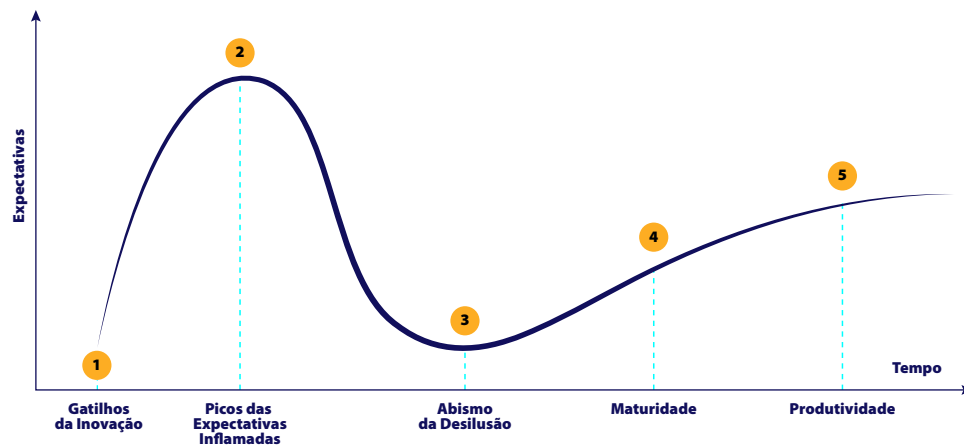
O Hype Cycle é uma apresentação gráfica (**Figura 6**) desenvolvida pela consultoria Gartner para representar os ciclos de aparecimento, adoção, maturidade e aplicação de tecnologias no mercado.

Fig.
06

É considerado em análise de tendências e investimentos em novas tecnologias.

Gráfico das Etapas do Ciclo de Inovação Hype-Gartner

Fonte: Gartner (adaptado)



O gráfico analisa as tendências e investimentos em novas tecnologias. Após inovação e adoção pelo mercado, é crucial monitorar os casos de sucesso e fracasso de uma tecnologia quando se torna um produto, especialmente durante o Pico de Expectativas Infladas e sua subsequente queda. A fase seguinte é caracterizada por uma queda devido à desconfiança do mercado, que deve ser cuidadosamente analisada até atingir o Vale da Desilusão. Depois, começa a fase de maturidade do produto e do mercado, marcada por um aumento gradual de maturidade. Finalmente, o produto atinge o Platô de Produtividade, no qual se estabiliza no mercado e não retorna ao estágio anterior, a menos que se torne obsoleto.

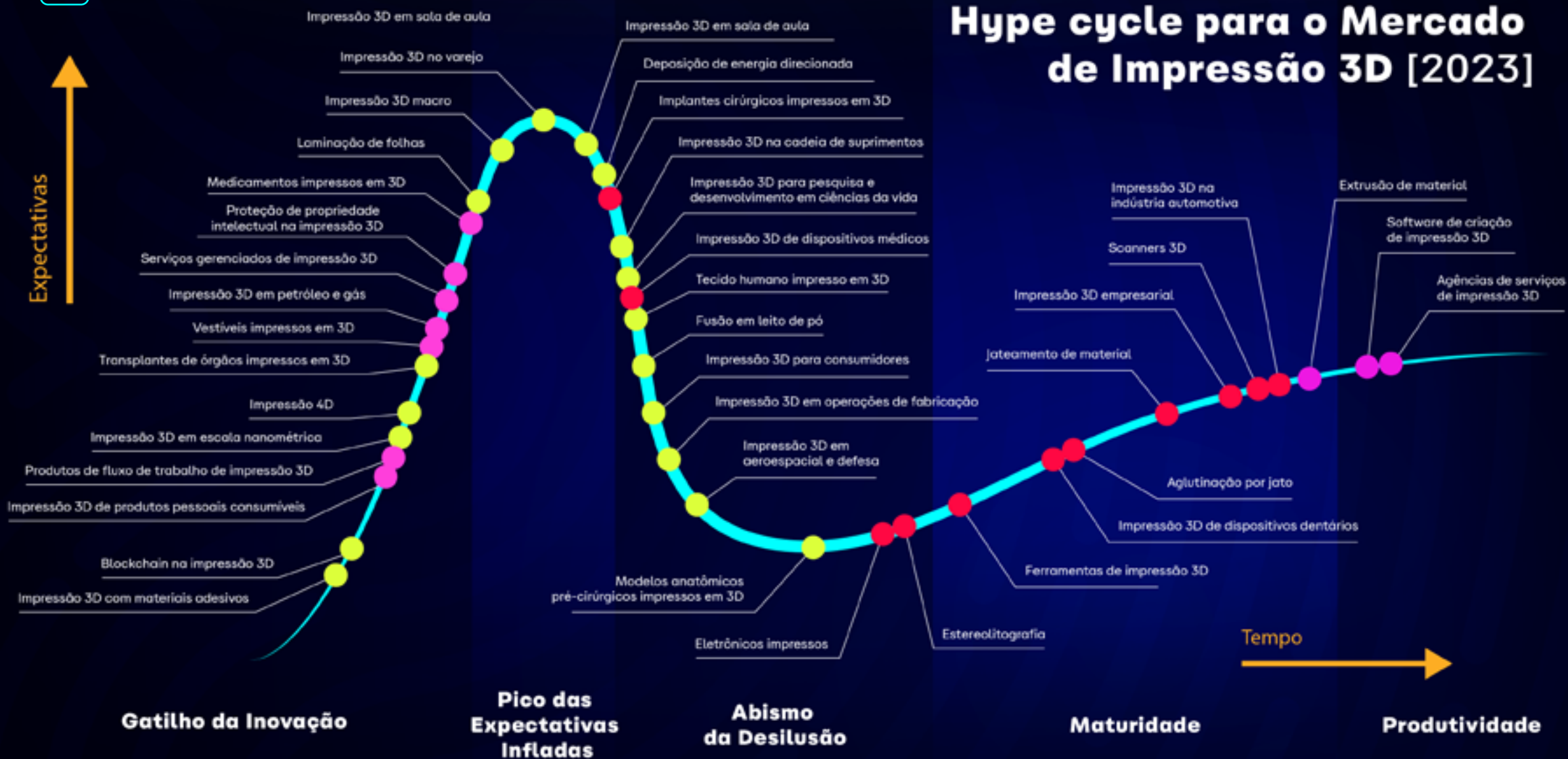
As tecnologias de impressão 3D para prototipagem atingiram um estágio de alta produtividade. Diversas tecnologias relacionadas, como digitalização 3D, fábricas de impressão 3D e próteses dentárias impressas em 3D, estão superando suas limitações iniciais. Isso faz com que a tecnologia de impressão 3D seja considerada fundamental tanto para a prototipagem quanto para a produção final em uma ampla gama de indústrias altamente lucrativas. O ciclo de Hype da Gartner para o mercado de impressão 3D, ilustrado na **Figura 07**, demonstra essa evolução.

A partir do gráfico da **Figura 07**, cuja referência inicial é de 2018, verifica-se que já existem tecnologias de impressão 3D no platô de produtividade, como os serviços de prototipagem rápida (3D Printing Service Bureau) e softwares para desenvolvimento de impressão 3D. Na etapa de Maturidade, destaca-se a presença do uso da tecnologia na indústria automotiva, com a utilização do processo do Binder Jetting (matéria-prima em pó e gotículas de materiais aglutinantes) para o desenvolvimento de objetos tridimensionais e aplicações na área de odontologia. No Abismo da Desilusão, verifica-se a aplicação da impressão 3D na área da saúde com a impressão de modelos anatômicos pré-cirúrgicos e aplicações no setor de defesa e aeroespacial. Já no Pico das Expectativas está o uso da tecnologia na indústria de varejo (3D Printing Retail), na educação e na impressão 3D de grandes estruturas (Macro 3D Printing), como em produção de casas ou pontes. Na etapa de Gatilho da Inovação, destacam as aplicações em Blockchain, bioimpressão de órgãos transplantados, impressão em nano escala e de drogas.

Expectativas

Menos de 2 anos 2 a 5 anos Mais de 10 anos Mais de 10 anos Obsoleto antes de atingir plateau

Hype cycle para o Mercado de Impressão 3D [2023]



2. Análise de Patentes

Uma pesquisa de patentes com a palavra-chave “metal 3d printing” foi realizada na plataforma Derwent Innovation (da empresa Clarivate Analytics) para obter uma visão geral dos documentos de patentes. A opção “smart search” foi usada para considerar todos os resultados possíveis. Além disso, um filtro foi aplicado para incluir apenas as patentes “vivas” (*alive*) e “indeterminadas” (*indeterminates*), ou seja, patentes em que faltam alguma informação, como data de expiração, depósito ou informação de status legal. As patentes “mortas” (*dead*) não foram consideradas. Nesse cenário, foram detectadas cerca de 500 mil patentes.

Países que depositaram patentes relacionadas à Impressão 3D de Metais

Conforme a **Figura 08**, os três países que mais depositam patentes na área de impressão 3D são China, Japão e Estados Unidos. A posição do Brasil é a 17ª, com 2248 registros de patentes.

É importante destacar que uma patente com a designação “WO” está relacionada às patentes concedidas pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) e indica que será administrada por esse órgão. Já a sigla “EP” (European Patent) refere-se a patentes concedidas pelo Escritório Europeu de Patentes e administradas por esse órgão.

Principais países depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais

Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

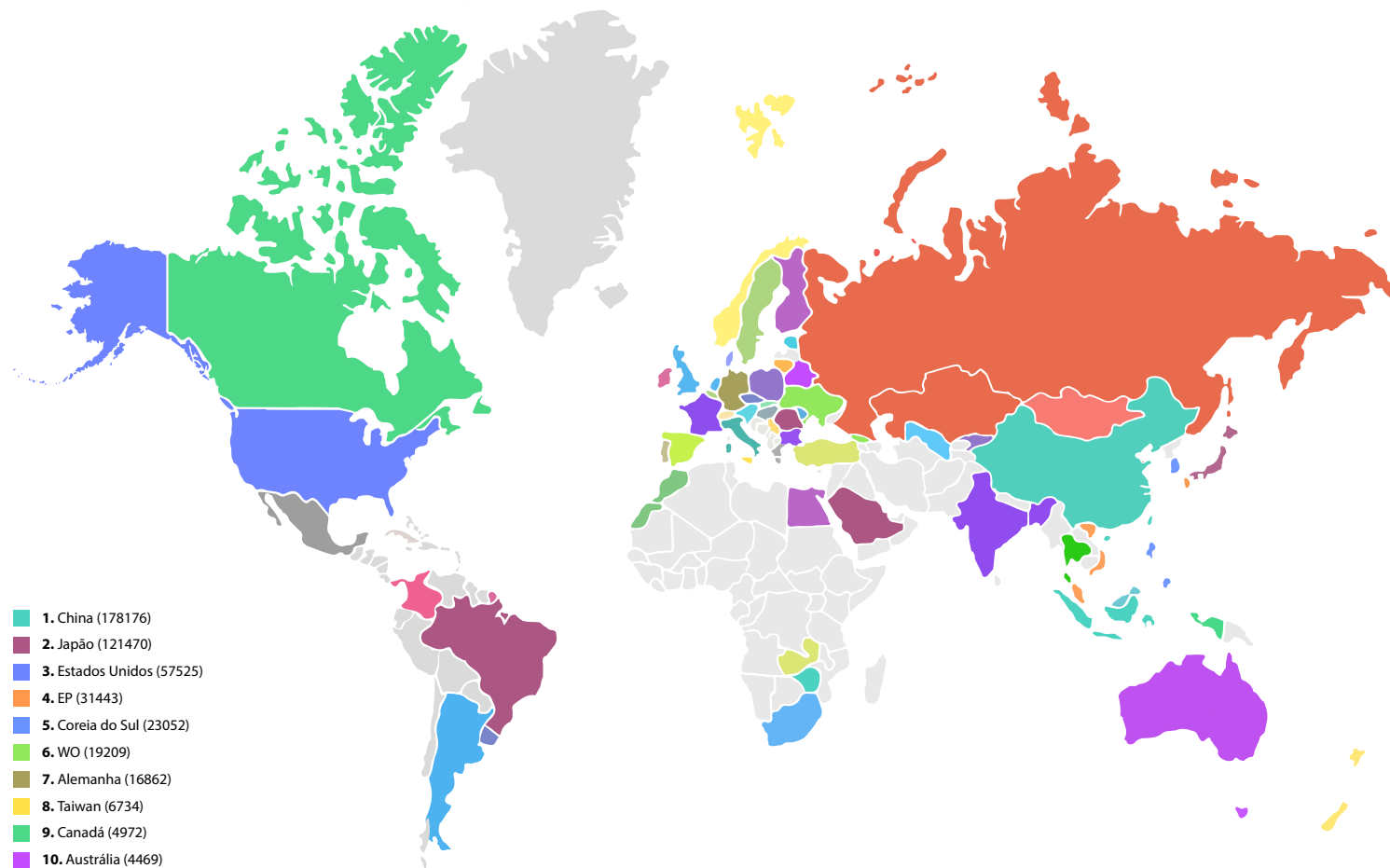


Fig.
08

A **Figura 09** destaca as oito principais tendências tecnológicas presentes nas patentes encontradas. As principais tecnologias neste cenário estão relacionadas a moldes, compósitos, formação de imagens, deposição, laser, metal e plasma.

Fig. 09

Principais Áreas de desenvolvimento Tecnológico

Fonte: Derwent Innovation



As empresas multinacionais se apresentam como as dez principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais (**Figura 10**). Verifica-se que, entre os dez depositantes, encontram-se multinacionais como: Canon, Seiko, Hewlett Packard e a Xerox.

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais

Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes)

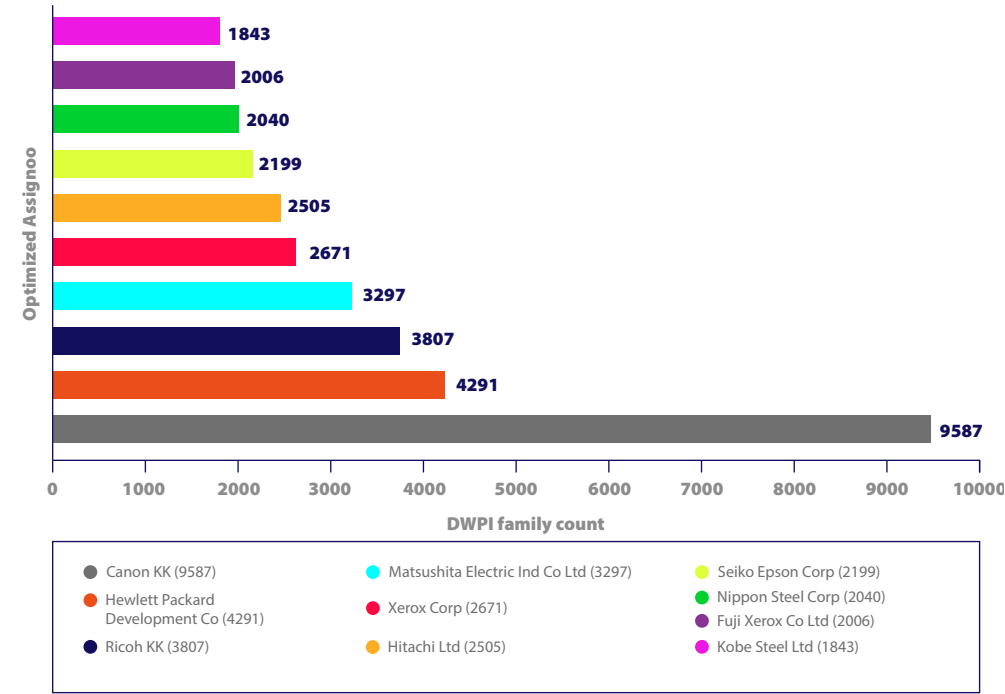


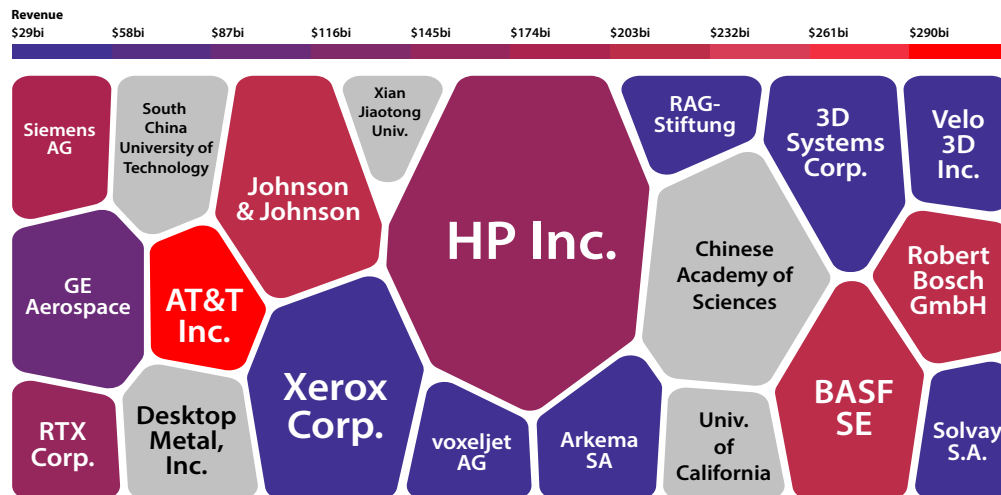
Fig. 10

Outro aspecto interessante é sobre os depositantes de patente de impressão 3D e sua receita. A **Figura 11** mostra esse aspecto a partir de alguns principais players, como HP, Xerox, GE Aerospace, BASF, Bosch e Johnson & Johnson. Há ainda destaque para algumas universidades, como University of California, South China University of Technology e Xian Jiaotong University.

Fig.
11

Principais depositantes de patentes na área de Impressão 3D de Metais x Receita

Fonte: Innography



A **Figura 12** apresenta o gráfico do Themescape Map, que é uma representação visual de uma coleção de patentes, organizada por conteúdo temático. Esse gráfico agrupa as patentes de acordo com a similaridade, usando um critério de proximidade tecnológica.

O gráfico foi criado com a capacidade máxima de análise da ferramenta, considerando 60 mil patentes relevantes, ou seja, patentes de primeiro nível. Portanto, o Themescape Map permite a criação rápida de mapas de panoramas

tecnológicos através da criação de grupos-chave, com o objetivo de identificar tendências de mercado internacional em qualquer tecnologia.

Themescape Map de Impressão 3D de Metais

Fonte: Derwent Innovation (referência de 60.000 patentes).



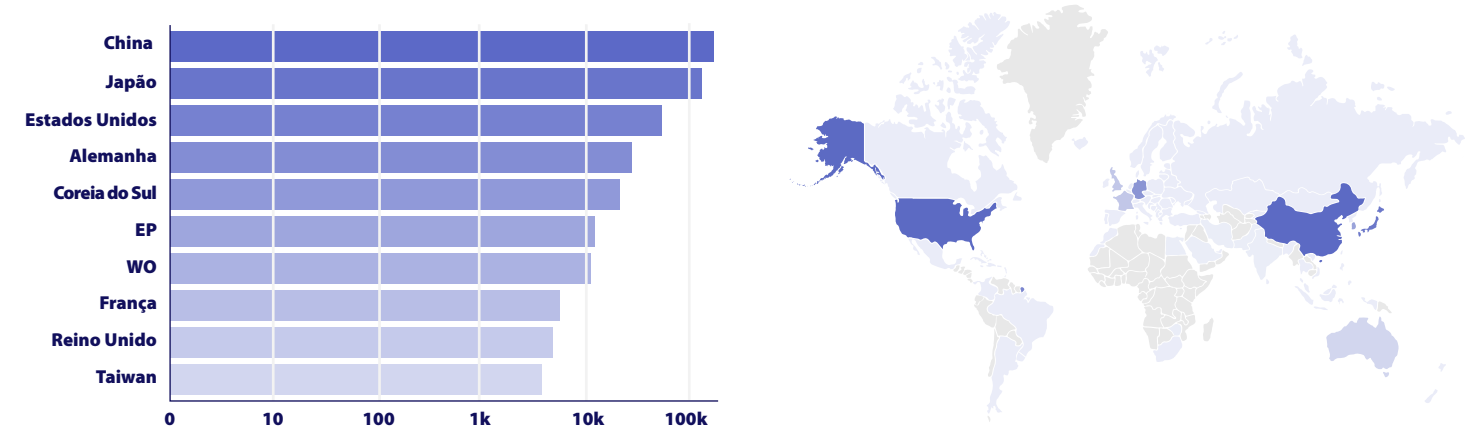
A **Figura 12** permite identificar cinco temáticas, ou seja, picos que se relacionam com a concentração de depósitos de patentes, mostrando uma relação de um registro com o outro. Desse modo, a partir da busca realizada, as temáticas que apresentaram concentração de registros de patentes são bateria de lítio, superfície metálica, soldagem a laser, liga, feixe de laser, cartucho de toner.

Fig.
12

Fig. 13

Principais países que desenvolvem tecnologias/produtos com a Impressão 3D de Metais

Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes).

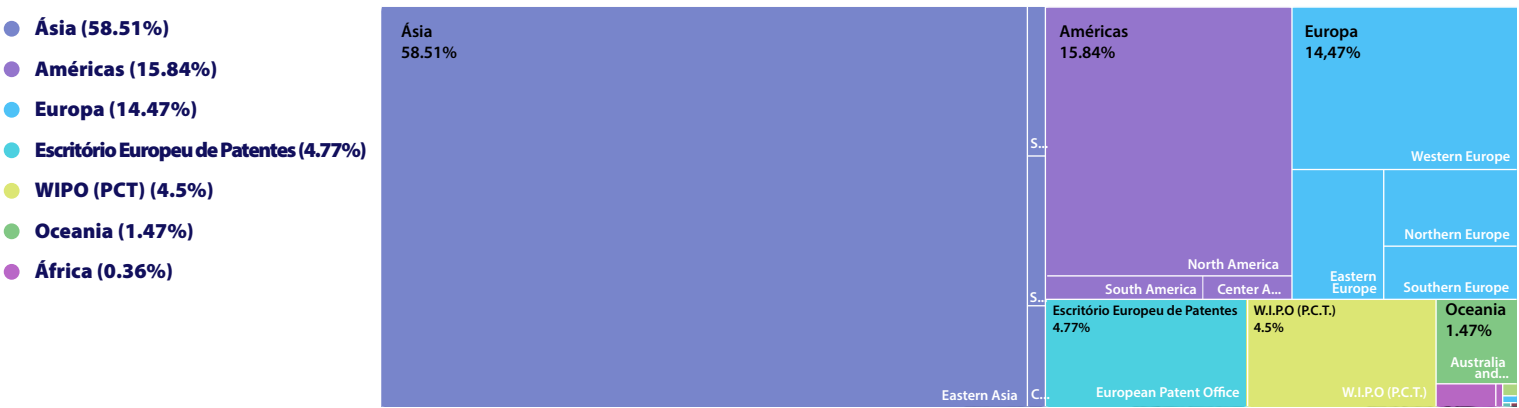


A **Figura 13** apresenta os principais países que desenvolvem tecnologias/produtos com a utilização de Impressão 3D de Metais. Nessa lista, os quatro primeiros países são China, Japão, Estados Unidos e Alemanha.

Fig. 14

Principais Mercados para as invenções à base de Impressão 3D de Metais

Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes).



A **Figura 14** apresenta os principais mercados para as invenções à base de impressão 3D de Metais no mundo. Esses mercados de tecnologias/produtos (a partir de depósitos e concessões de patentes) são dominados por países da Ásia, com cerca de 58,51%, seguido por países da América, com cerca de 15,84%. A Europa aparece em terceiro lugar, com 14,47%. A participação do Brasil no mercado mundial de invenções que utilizam Impressão 3D de Metais é de 0,69%.

3. Estudo de Mercado

2025

A demanda global por impressão 3D de metais, em 2019, foi de 1848,9 toneladas, com uma expectativa de crescimento para 10763,5 toneladas até 2027, representando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 24,6%. Em termos de receita, o mercado foi avaliado em USD 312,6 milhões, em 2019, e prevê-se que alcance USD 1548,8 milhões até 2027, com um CAGR de 22,1% no mesmo período.

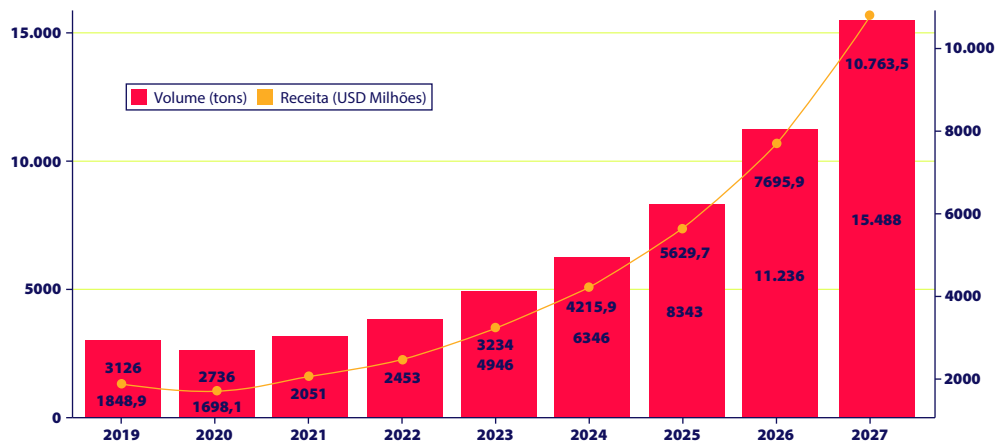
3.1. Setores nos quais a tecnologia se insere

A impressão 3D de metais é utilizada em várias indústrias, incluindo aeroespacial e defesa, automotiva, médica e odontológica, além de outras como a indústria de brinquedos, construção civil, joias, energia, eletrônicos e de máquinas e equipamentos. O mercado global de impressão 3D de metais está crescendo rapidamente, impulsionado principalmente pela alta demanda nas indústrias aeroespacial, de defesa e de saúde (**Figura 15**).

Fig.
15

Mercado e Projeção de Crescimento da I3D de metais

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



Em termos de receita, em 2019, o setor aeroespacial e de defesa obteve a maior participação no mercado de impressão 3D de metais, com 41,4%, seguido pelo setor médico e odontológico, com 30,9%, automotivo com 18,6%, e outros setores com 9,1%. Espera-se que o crescimento do mercado na indústria seja impulsionado por extensa pesquisa e desenvolvimento no campo. Além disso, o mercado é principalmente impulsionado pela cadeia de valor mais curta, menor desperdício, maior liberdade de design e economia proporcionada pela manufatura aditiva.

3.2. Análise de Mercado

A segmentação do mercado de impressão 3D se dá pelos prestadores de serviços, fornecedores de hardware, software e de materiais.

Hardware: inclui impressoras 3D e scanners. Empresas como 3D Systems, EOS e Desktop Metal estão desenvolvendo impressoras 3D para aplicações industriais e produção em lotes. Este segmento representa entre 35% e 40% do mercado global de impressão 3D.

Software: permite aos usuários realizarem tarefas, como projeto, preparação de dados, controle da máquina, simulação e controle de qualidade. Empresas líderes neste segmento incluem AutoCAD, Creo, Ultimaker Cura, Materialise Magics e Tinkercad. Este segmento representa 8% a 12% do mercado global.

Materiais: os materiais de impressão 3D, que incluem polímeros, metais e ligas, cerâmicas e concreto, são diferentes dos materiais convencionais. Os metais estão ganhando popularidade devido à redução do custo das impressoras 3D de metal e ao aumento da atividade de P&D voltada para metais impressos de alta qualidade. Empresas líderes neste segmento incluem Ultimaker, OC Oerlikon Management AG, 3D Systems, Evonik e ExOne. Este segmento representa 15 a 20% do mercado global.

Serviços: inclui impressão sob demanda (que domina o segmento), projeto sob demanda, escaneamento sob demanda, consultoria, otimização de produção e custos, entre outros. Empresas líderes neste segmento incluem 3D Systems, Stratasys, Xometry, PTC, Protolabs e Oerlikon Management AG. Este segmento representa de 33% a 38% do mercado global.

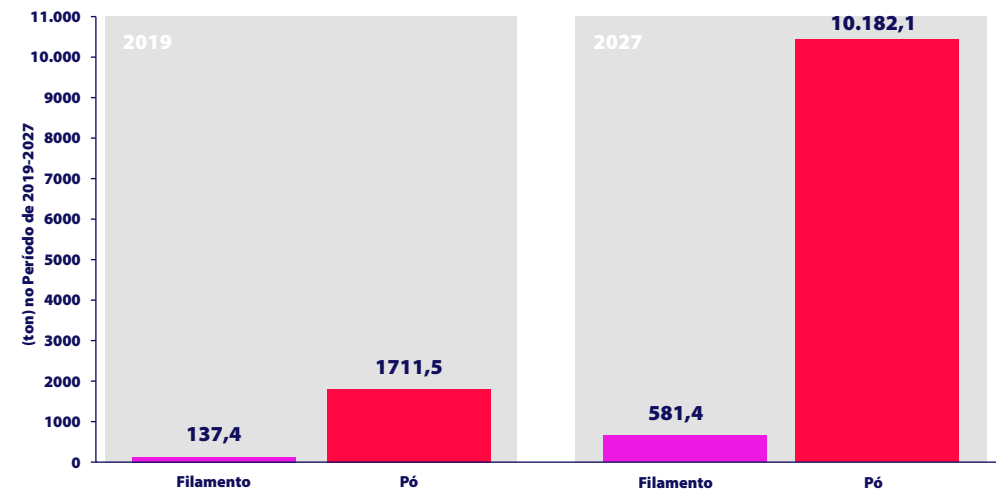
Por sua vez, o mercado de impressão 3D de metais pode ser segmentado pela forma de deposição, material e aplicação.

Segmentação por forma de deposição

A impressão 3D de metais por pó domina o mercado com 92,6% (2019) e há previsão de aumento para 94,6% em 2027, comparado à tecnologia de filamento. Em termos de volume (tons), a impressão 3D por pó utilizou de 1711,5 tons, em 2019, e estima-se 10182,1 tons em 2027, como mostra a **Figura 16**, um CAGR de 25,0% neste período. Por outro lado, o mercado de filamentos registrou 137,4 tons, em 2019, e estima-se que atinja em torno de 581,4 tons em 2027, um CAGR de 19,8%

Mercado e Projeção de Crescimento Global em Volume (tons) por forma no mundo

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

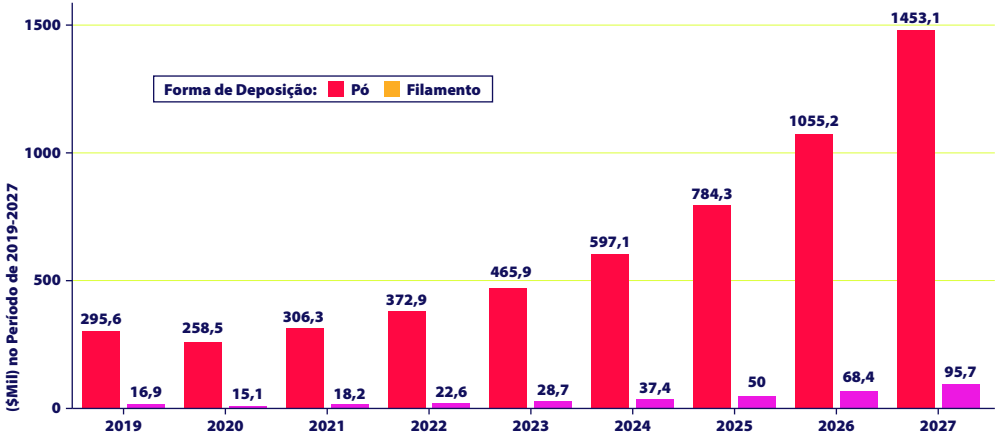


Relativo à receita, a impressão 3D por pó registrou USD 295,6 milhões, em 2019, e estima-se USD 1453,1 milhões em 2027, um CAGR de 22,0% neste período. O mercado de filamentos registrou USD 16,9 milhões, em 2019, e estima-se que atinja em torno de USD 95,7 milhões em 2027, um CAGR de 24,2%, conforme a **Figura 17**. No caso da impressão 3D por filamento, os metais são o segundo tipo de material mais utilizado, com uma receita global, registrada em 2017, de USD 119,85 milhões e com previsão de atingir USD 336,06 milhões em 2027, um CAGR de 15,36%, perdendo apenas dos polímeros (Grand View Research, 2021).

Fig. 17

Projeção de crescimento global (Receita, em USD Mi) por forma de deposição

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



A segmentação por materiais na impressão 3D de metais inclui (Figura 18):

Aço: o material mais utilizado, com 545,5 toneladas, em 2019, e previsão de 3911,3 toneladas em 2027. Gerou USD 41,5 milhões, em 2019, e estima-se USD 267,1 milhões para 2027.

Titânio: um dos metais mais forte leve, biocompatível e resistente à corrosão. É amplamente usado nas indústrias aeronáutica, aeroespacial e médica. Gerou USD 129,4 milhões, em 2019, e a expectativa é de que alcance USD 764,1 milhões em 2027.

Níquel: importante elemento de liga na fabricação de aço, possui propriedades como alta ductilidade, reciclabilidade, alto ponto de fusão e resistência à corrosão. Foi o terceiro material mais usado, com 21,6% do *market share* em 2019. Em termos de receita, no mesmo ano registrou-se USD 48,6 milhões e estima-se USD 177,9 milhões em 2027.

Alumínio: material de baixo custo e fácil disponibilidade, usado para componentes funcionais, peças de reposição e joias. Em 2019, registrou 13,5% de utilização e, em termos de receita, registrou USD 32,8 milhões, com previsão de USD 163,8 milhões para 2027.

Mercado e projeção de uso da I3D por volume por material

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

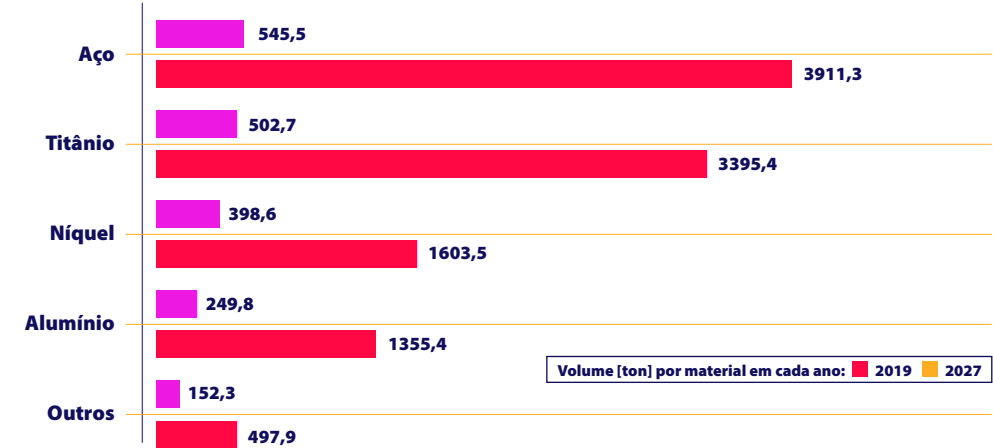
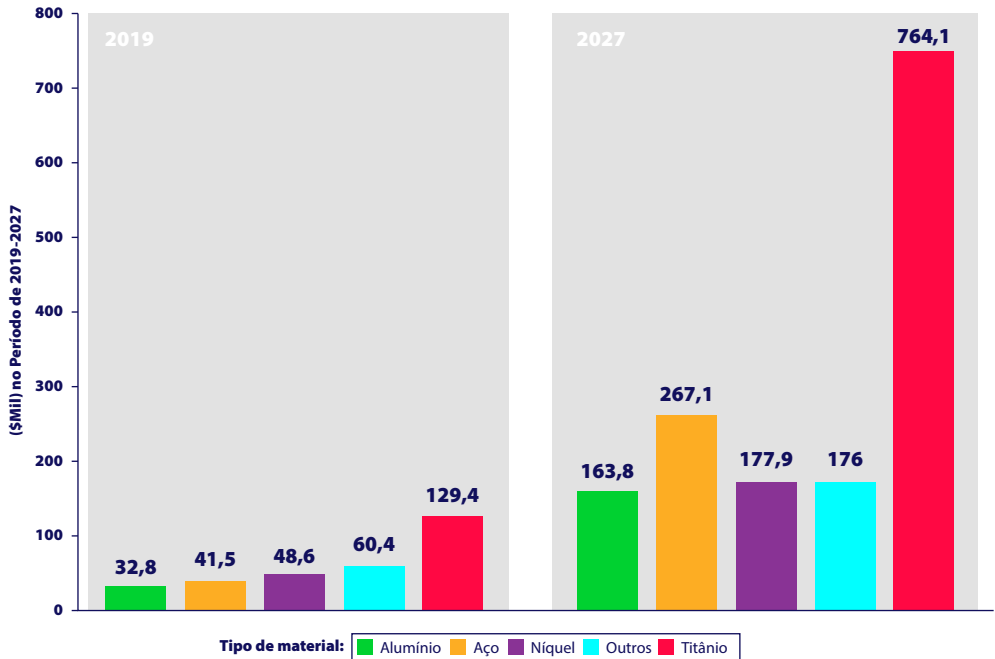


Fig. 18

Fig. 19

Mercado e projeção de crescimento global de I3D de metais por material

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



Conforme as **Figuras 20 e 21**, os setores de aviação e saúde são os dois maiores mercados para a impressão 3D em metais, tanto em termos de receita quanto de volume em toneladas de material empregado. A previsão de que esses dois setores mantenham suas posições até 2027.

Mercado e Projeção de Uso da I3D por Volume por Setor

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

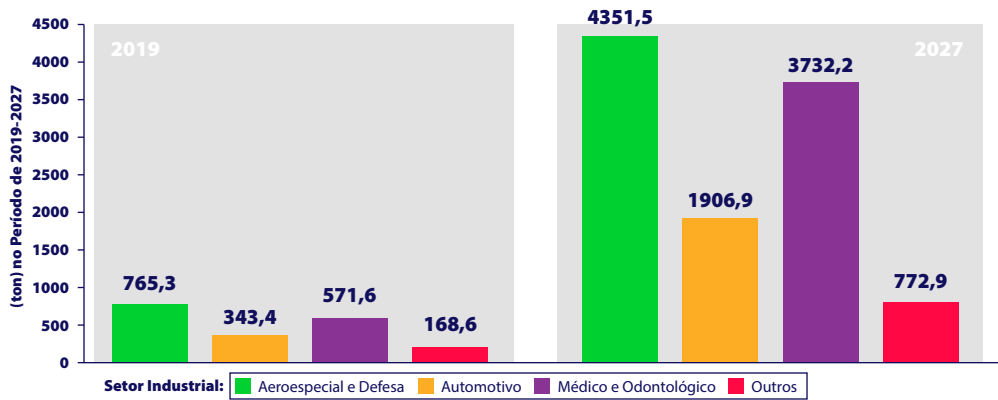


Fig. 20

Projeção de crescimento global por Setor

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021)- Elaboração: Observatório Nacional da Indústria. Período: 2019 à 2027

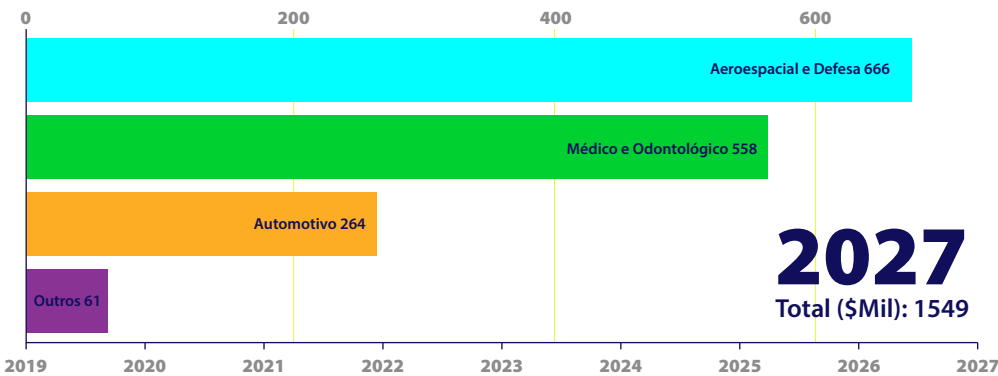


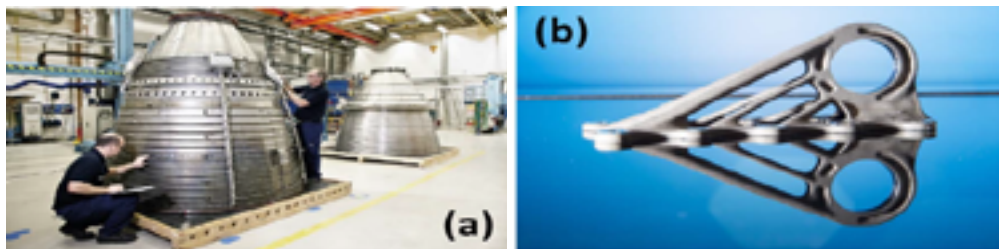
Fig. 21

O setor aeroespacial é o maior consumidor de impressão 3D em metais, com 41,4% do volume em 2019. Seu consumo foi de 382,7 toneladas, em 2017, e estima-se que chegue a 4351,5 toneladas em 2027. Em termos de receita, registrou USD 70,5 milhões, em 2017, com expectativa de alcançar USD 666,4 milhões em 2027. Empresas como Boeing, Lockheed Martin e Airbus estão focadas no desenvolvimento de protótipos e componentes complexos usando fabricação em baixo volume. A capacidade do setor aeroespacial e de defesa de suportar altos custos iniciais e de se adaptar às novas tecnologias deve impulsionar seu desenvolvimento (**Figura 22**). O mercado global de fabricação de peças aeroespaciais deve crescer a uma taxa anual composta (CAGR) de 3,8% de 2018 a 2025. Em 2018, a América do Norte representou a maior participação de mercado (51,3%) no mercado global de fabricação de peças aeroespaciais.

Fig.
22

(a) Bocal do foguete Vulcain (b) Suporte de titânio para aeronaves

Fonte: Ngo et al. (2018)



O setor médico e odontológico é o segundo maior consumidor de impressão 3D em metais, com 30,9% do volume de mercado. Seu consumo foi de 293,1 toneladas, em 2017, e estima-se que chegue a 3732,2 toneladas em 2027. Em termos de receita, registrou USD 53,3 milhões, em 2017, com expectativa de alcançar USD 557,5 milhões em 2027.

Este setor deve manter seu rápido crescimento, impulsionado pela necessidade de dispositivos médicos e próteses personalizadas. No entanto, empresas menores enfrentam dificuldades para adotar a tecnologia devido ao custo. Na odontologia, a impressão 3D é usada para produzir itens personalizados, como dentaduras, pontes e coroas. Além disso, componentes de implantes metálicos porosos fabricados por impressão 3D têm sido utilizados em milhares de substituições de quadril em todo o mundo na última década. Na China, há uma tendência de produzir implantes personalizados em instalações dedicadas dentro de hospitais, e os produtores comerciais de implantes nos Estados Unidos também se comprometeram com o desenvolvimento de instalações de impressão 3D. Um exemplo é um inserto espinhal impresso em 3D de Ti-6Al-4V, ilustrado na **Figura 23**.

Implante espinhal personalizado impresso em 3D em Ti-6Al-4V

Fonte: Murr, 2020

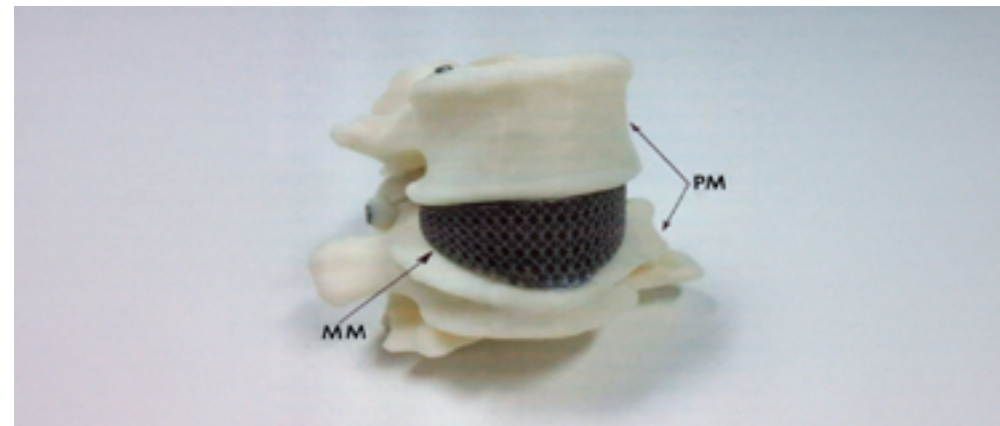


Fig.
23

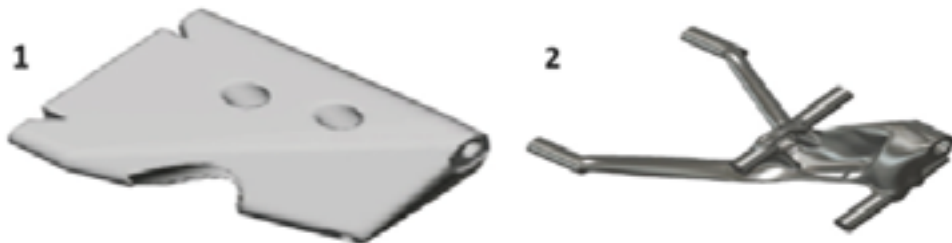
O setor automotivo representou 18,6% do volume de mercado de impressão 3D em metais. Seu consumo foi de 186,2 toneladas, em 2017, e estima-se que chegue a 1906,9 toneladas em 2027. Em termos de receita, registrou USD 31,3 milhões, em 2017, com expectativa de alcançar USD 263,9 milhões em 2027. Espera-se que a manufatura aditiva de metais traga muitos benefícios para o setor automotivo, como a produção de componentes ocios com paredes mais finas e a possibilidade de misturar várias matérias-primas durante a fabricação, o que terá um impacto positivo no crescimento do mercado.

O uso de manufatura aditiva de metais produz peças mais leves e com maior precisão geométrica. A reprodução de peças em massa com tecnologia 3D é benéfica em termos de tempo e custo de produção. A **Figura 24** mostra um componente impresso em 3D para a indústria automotiva.

Fig.
24

(1) Componente de suspensão de carro não otimizado
(2) Otimizado para minimizar seu peso

Fonte: Fernando Velásquez-García e Kornbluth, 2021



Fabricantes de máquinas estão desenvolvendo tecnologias de manufatura aditiva para oferecer projetos personalizados aos clientes. Um exemplo é a utilização de um inserto impresso em aço H13 para a confecção de bocais para inaladores, como mostrado na **Figura 25**. O rápido crescimento da atividade manufatureira tem impulsionado a demanda global no mercado de máquinas metalmeccânica. Tanto países desenvolvidos quanto emergentes têm promovido esse crescimento, incentivando a produção local.

Inserto de molde impresso em aço H13 para injeção de bocais de inaladores médicos

Fonte: Desktop Metal, 2023



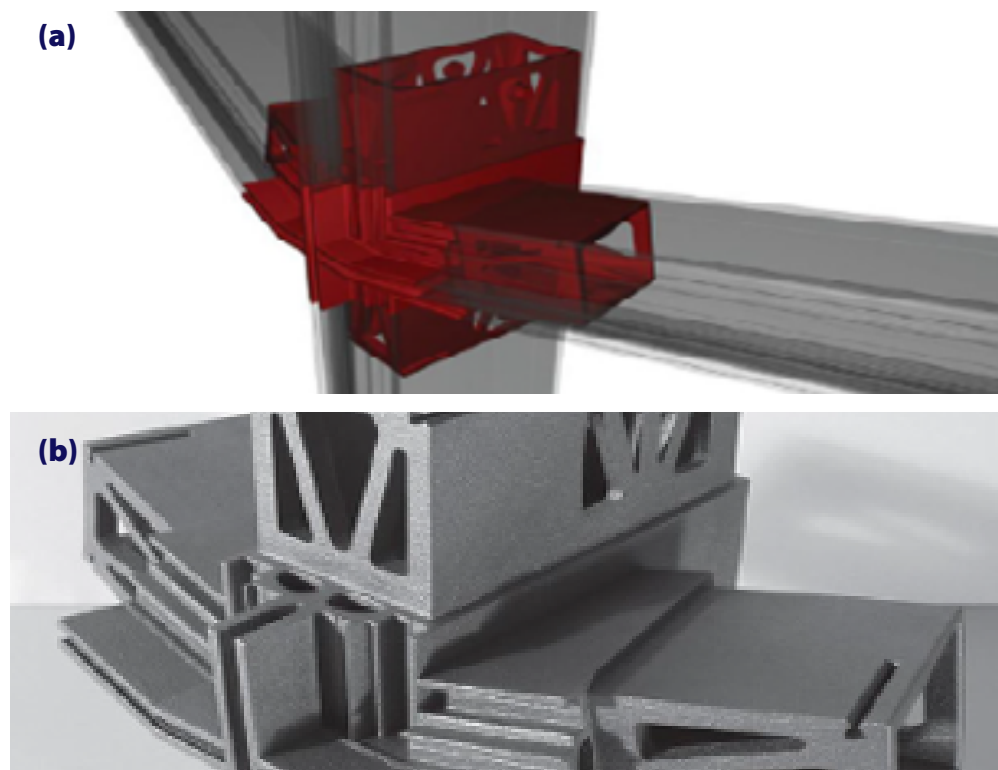
Fig.
25

No setor da construção civil, os primeiros usos da fabricação aditiva de metal na construção têm apresentado principalmente componentes em pequena escala, como nós e conexões de fachadas (**Figura 26**).

Fig.
26

(a) Nó Nematox renderizado (b) protótipo de alumínio

Fonte: Buchanan e Gardner, 2019



3.3. Detalhamento do Setor Principal

O setor aeroespacial foi um dos primeiros a adotar a manufatura aditiva, o que deve ajudar a manter uma alta participação no mercado geral nos próximos anos. Empresas como Boeing, NASA, SpaceX e outras estão se beneficiando da tecnologia de impressão 3D, pois facilita a produção de protótipos com alta precisão geométrica, em menos tempo e com desperdício mínimo de material. No segmento aeroespacial, empresas estão realizando *joint ventures* e parcerias para utilizar a impressão 3D em motores de foguetes. A NASA e a Relativity Space iniciaram uma fábrica robotizada que utiliza manufatura aditiva. Na Índia, a Hindustan Aeronautics está usando impressão 3D em metal para fabricar componentes de motores de aviões.

No setor de saúde, implantes feitos com impressão 3D usando laser ou sistemas de fusão por feixe de elétrons se mostraram promissores tanto na compatibilidade biomecânica quanto na integração óssea. Isso inclui dentes, enxertos e implantes cranianos, substituições de ossos do queixo, substituições totais de quadril e uma variedade de outras substituições ortopédicas, incluindo joelhos.

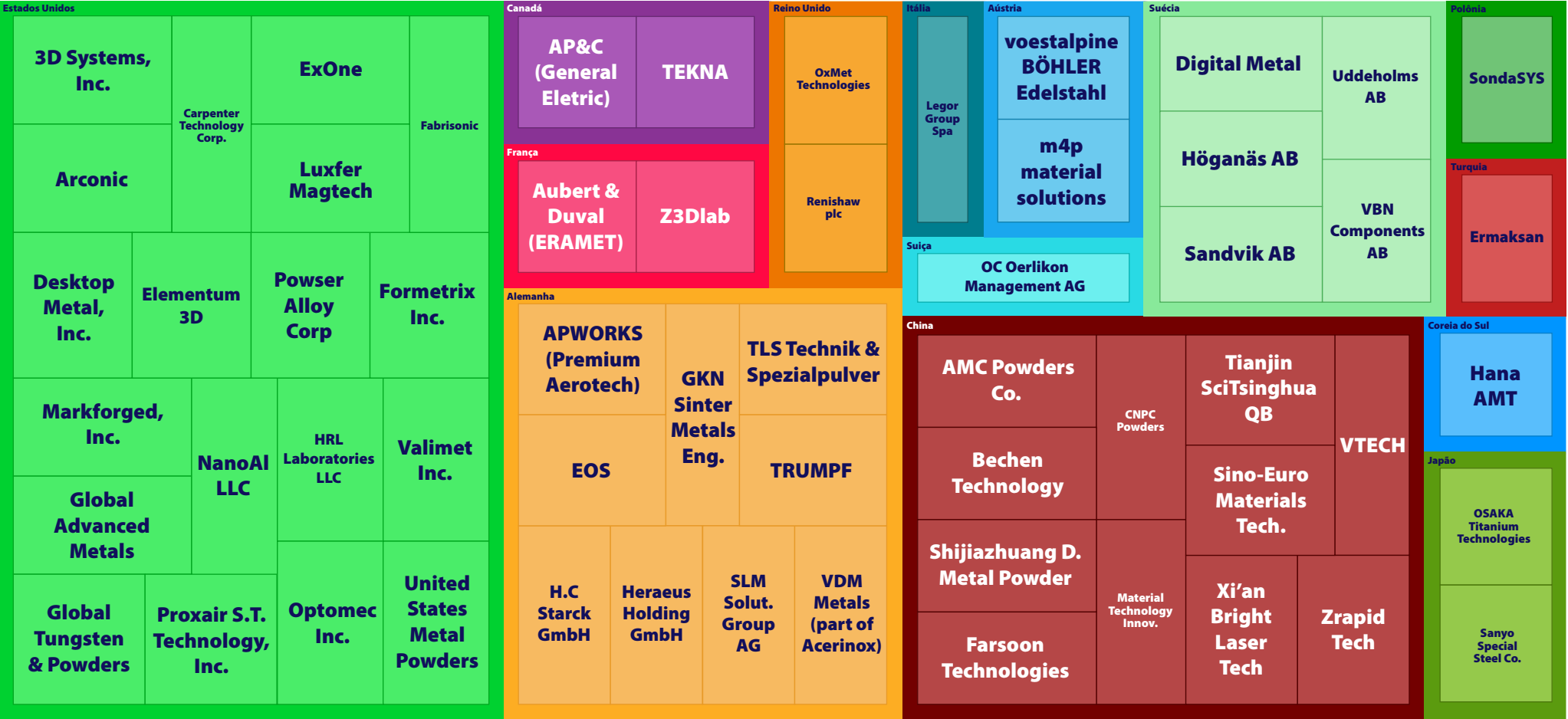
3.4. Principais Players Internacionais de Impressão 3D de Metais

A **Figura 27** apresenta os principais fornecedores internacionais relacionados à área de Impressão 3D de Metais com localização na América do Norte, Europa e na Ásia.

Fig.
27

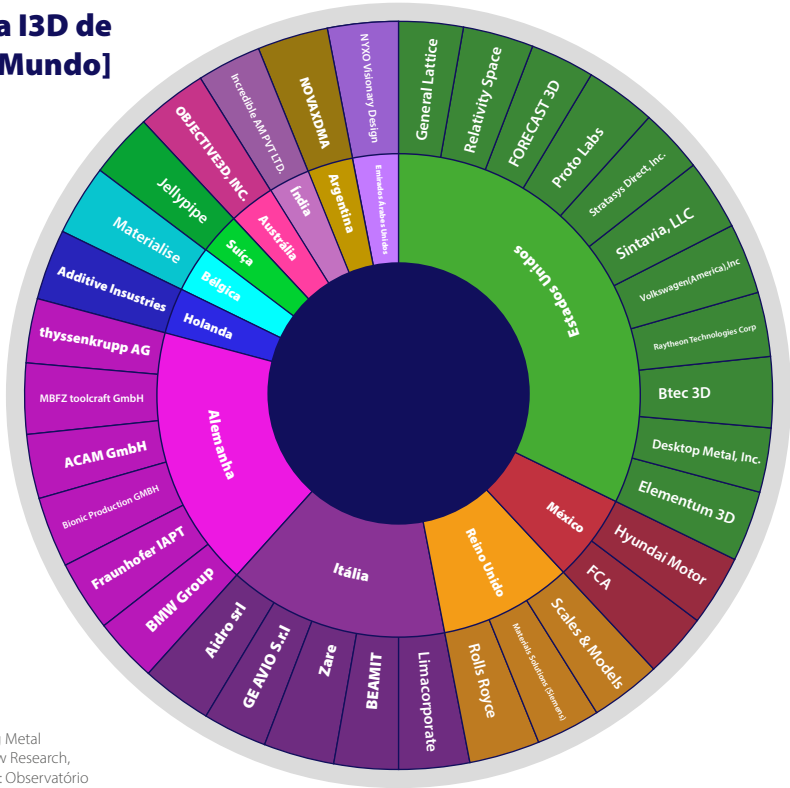
Principais Fornecedores da Área de I3D de Metais [Mundo]

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



A **Figura 28** apresenta os principais usuários finais da tecnologia de I3D no mundo relacionados à área de Impressão 3D de Metais com localização em diversos países no mundo.

Fig. 28
Principais Usuários Finais da I3D de Metais [Mundo]



Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

O mercado de impressão 3D está testemunhando um crescente número de startups na indústria em todo o mundo devido à natureza altamente fragmentada. O mercado global de impressão 3D pode ser segmentado em hardware, software, serviços e materiais de impressão. Na **Figura 29**, é possível observar algumas startups relacionadas à Impressão 3D de metais em alguns países no mundo.

Startups relacionadas à impressão 3D de metais

Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria

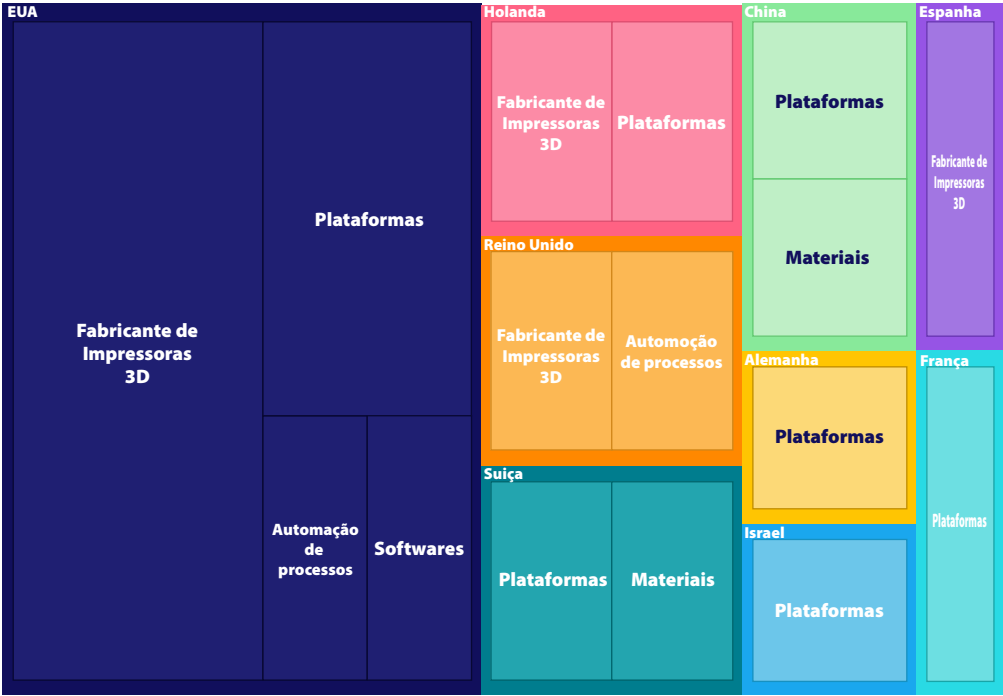


Fig. 29

3.5. Análise de Pestel

Político: o interesse crescente dos governos está impulsionando o mercado de impressão 3D. No entanto, guerras comerciais podem afetar os preços dos metais e o fornecimento de matéria-prima.

Econômico: avanços tecnológicos reduziram o custo da impressão 3D, facilitando sua adoção. No entanto, a pandemia de covid-19 impactou negativamente a demanda por impressão 3D de metal em 2020.

Social: a falta de regulamentações relativas à segurança de produtos fabricados com tecnologia de impressão 3D é uma grande preocupação.

Tecnológico: o desenvolvimento de novos materiais para a manufatura aditiva de metal ganhou popularidade nos últimos anos. Avanços no setor de saúde e automotivo também impulsionaram o uso da tecnologia.

Legal: órgãos reguladores estão pressionando por novas políticas para regular e monitorar o desenvolvimento da impressão 3D de metal.

Ambiental: a impressão 3D oferece menos emissões de carbono comparada a outros processos, promovendo uma fabricação ambientalmente sustentável. No entanto, consome mais energia elétrica, impactando o ambiente em países que utilizam combustível fóssil como principal gerador de eletricidade.

3.6. Legislação/Regulamentação

A FDA (Food and Drug Administration) recomenda seguir suas diretrizes para a produção de itens de saúde com impressão 3D. A FAA (Federal Aviation Administration) estabelece que as peças produzidas por impressão 3D devem atender aos padrões normalmente estabelecidos para produtos fabricados pelo processo tradicional.

Fabricantes de impressoras 3D devem garantir o cumprimento das impressoras com os requisitos essenciais de saúde e segurança aplicáveis da Diretiva de Máquinas 2006/42/EC da União Europeia. Princípios gerais do direito penal e civil também se aplicam ao uso da impressão 3D.

A SAE International é uma das principais instituições que emitem especificações de materiais aeroespaciais. Em 2018, a SAE emitiu as primeiras quatro séries de especificações relacionadas ao uso da fabricação aditiva de metal na indústria aeroespacial e de aviação. Os padrões estabelecidos pela SAE provavelmente terão um grande impacto no futuro da tecnologia de fabricação aditiva de metal.

3.7. Análise de Mercado no Brasil

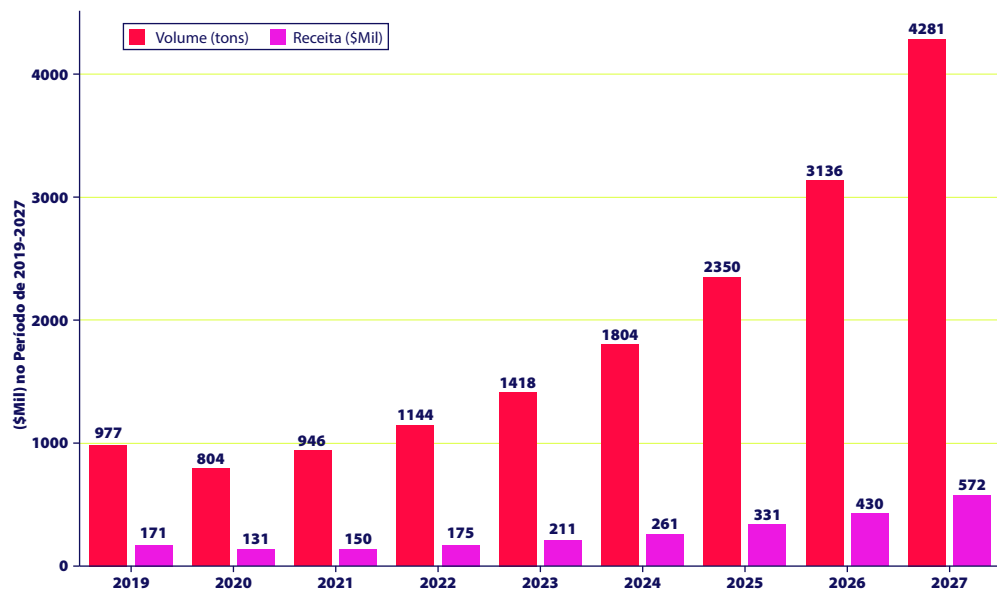
O mercado de impressão 3D por metal no Brasil é relativamente pequeno, crescendo a passos mais lentos em comparação com países desenvolvidos. Isso se deve

principalmente ao fato de que a tecnologia requer altos investimentos, os quais os players do mercado local não estão dispostos a fazer. Além disso, a falta de especialistas no país é outro desafio para o crescimento do mercado. Apesar disso, o mercado no Brasil pode crescer a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 14,4% em volume e 11,6% em receita. O crescimento do mercado no Brasil por setores é ilustrado na **Figura 30**.

Fig. 30

Projeção de crescimento do mercado de I3D de metais no Brasil

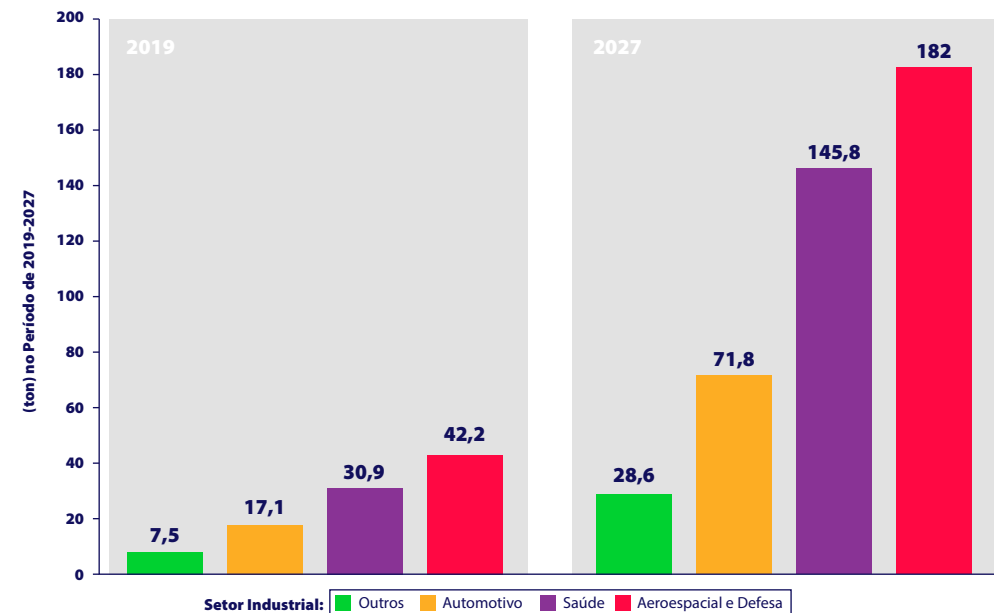
Fonte: Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



O setor aeroespacial e defesa é o que lidera no uso de I3D de metais, seguido pelo setor de saúde, automotivo e outros. A projeção para 2027 é que essas posições se mantenham (**Figura 31**).

Mercado e Projeção de Crescimento Global em Receita (\$Mil) por Setor no Brasil

Fonte: Fonte: 3D Printing Metal Market (Grand View Research, 2021) - Elaboração: Observatório Nacional da Indústria



No Brasil, o foco atual está em soluções para pesquisa e desenvolvimento (P&D) e prototipagem. Áreas-chave, como a médica e odontológica, estão atraindo interesse

Fig. 31

significativo, principalmente para soluções centradas no paciente. Parcerias e *joint ventures* estão sendo projetadas para beneficiar o mercado de manufatura aditiva no Brasil, impulsionando as vendas de sistemas e serviços. A indústria aeroespacial brasileira, liderada pela Embraer e composta por mais de 130 empresas, deve impulsionar a demanda por filamentos de impressão 3D.

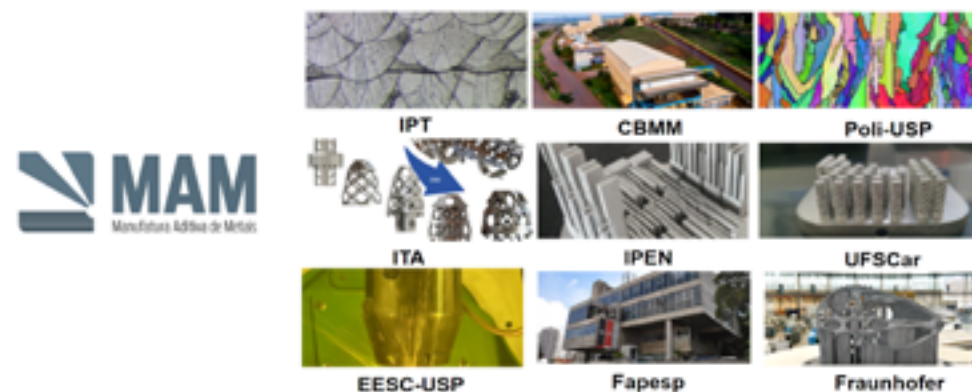
Na área da saúde, o Brasil é o sétimo maior mercado de saúde do mundo, com mais de USD 42 bilhões gastos anualmente em saúde privada. A crescente pesquisa e a população idosa em crescimento impulsionam a demanda por filamentos de impressão 3D em aplicações médicas.

Atores do ecossistema nacional da Impressão 3D de metais

O Núcleo de Pesquisa em Manufatura Aditiva de Metais foi oficialmente lançado no *campus* do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com o objetivo de desenvolver a cadeia produtiva de manufatura aditiva de metais, enfrentando gargalos tecnológicos existentes em cada etapa da cadeia. A cadeia completa do processo inclui o estudo do projeto de liga para manufatura aditiva, da matéria-prima, do processo de impressão 3D, do pós-processamento, das propriedades e dos componentes.

A iniciativa reúne sete Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e universidades, além da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM). Essas instituições incluem o IPT, a Poli-USP, o ITA, a EESC-USP, a UFSCar, o Fraunhofer IPK (Alemanha) e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

ICTs que fazem parte da Rede MAM



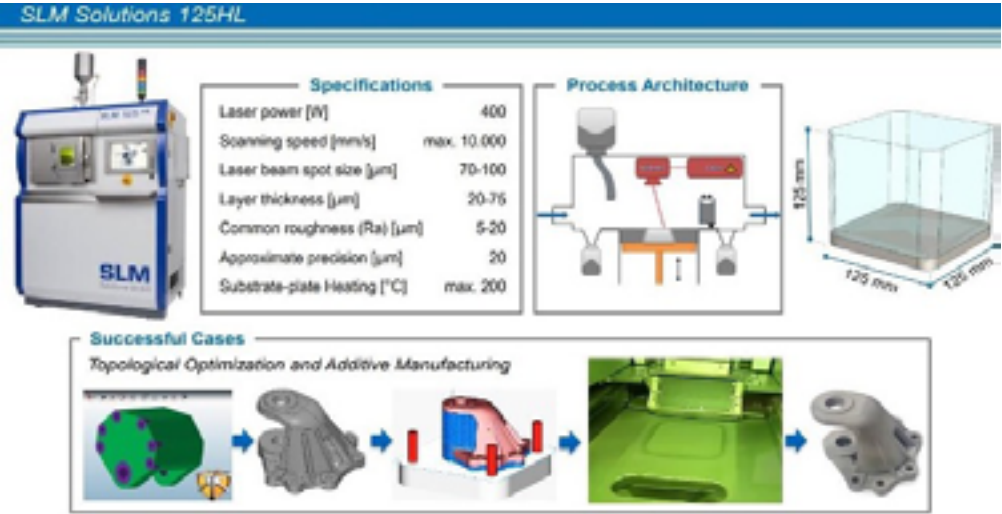
Um importante centro de inovação e desenvolvimento é o Instituto Senai de Inovação de Joinville/SC. Nesse centro, há diversos processos de impressão 3D (**Figura 33**) voltados para metais. O instituto conta com 140 profissionais, com doutores, mestres, graduados e técnicos. A plataforma de manufatura aditiva a laser atua no desenvolvimento de parâmetros de processamento, protótipos e demonstradores funcionais. Entre os serviços oferecidos estão: deposição de metais a laser; fabricação e reparo de componentes; fusão seletiva a laser; design e fabricação de peças leves, complexas e customizadas; Design for Additive Manufacturing (DfAM); manufatura híbrida; pesquisa e definição do ciclo de vida da cadeia de manufatura aditiva; e imersão e capacitação em AM, através da Academia de Manufatura Aditiva (AMA).

Fig.
32

Fig.
33

Processo de impressão 3D SLM e peças obtidas

Fonte: Instituto SENAI de Inovação - Joinville/SC



O Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – CTI é uma instituição de pesquisa do MCTI que desenvolve projetos de PD&I na área de Tecnologias 3D, nas linhas de atuação: competências digitais – desenvolvimento de novos materiais e processos; e competências físicas – desenvolvimento de tecnologias e modelos. Conta com uma infraestrutura com equipamentos industriais e de tecnologias distintas para manufatura aditiva, incluindo bioimpressão, além de equipamentos computacionais e softwares para desenvolvimento de prova de conceito e estudos

em novos materiais e metamateriais. A infraestrutura e a capacitação técnica permitem à unidade de tecnologias 3D desenvolver soluções para demandas de diversas áreas, como: aplicações na área de próteses personalizadas; planejamento de cirurgias de alta complexidade; e desenvolvimento de implantes personalizados e instrumental cirúrgico (Figura 34).

Aplicações Médicas de Manufatura Aditiva do CTI Renato Archer

Fonte: Relatório de Atividades CTI Renato Archer

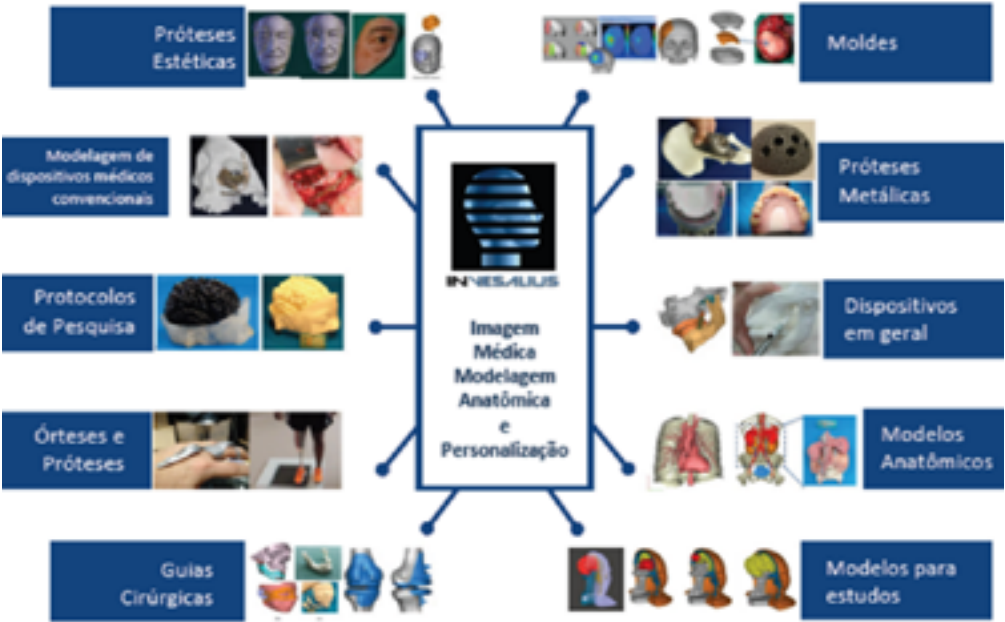
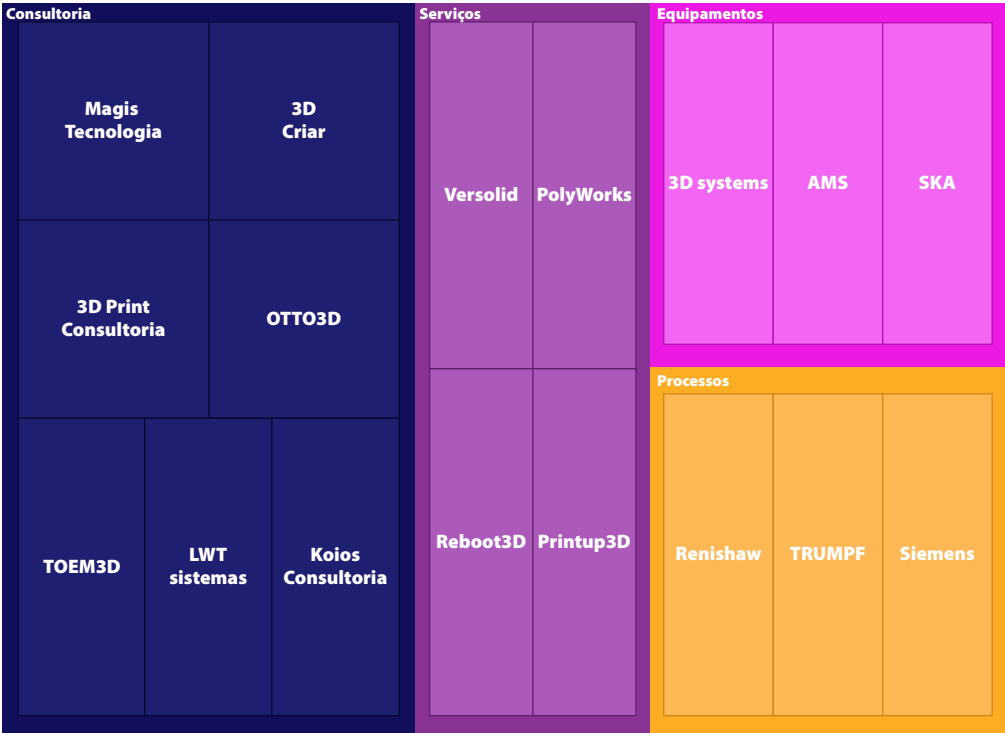


Fig.
34

A **Figura 35** mostra algumas empresas que fornecem serviços relacionados à Impressão 3D no Brasil relacionados com consultoria, serviços técnicos, equipamentos e processos.

Fig. 35
Empresas fornecedoras de serviços relacionados à Impressão 3D
Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes).



O BNDES possui linhas de financiamento para máquinas e equipamentos, como, por exemplo, o BNDES Finame Máquinas 4.0 (Brasil, 2023a). Além disso, financiamentos para exportações de equipamentos com tecnologia 4.0 também estão sendo realizados (Brasil, 2023b). O Finep Inovacred 4.0 é um financiamento para tecnologias para digitalização (inclusive manufatura aditiva) reembolsável e operado por agentes financeiros credenciados, utilizando recursos do FNDCT (Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (FINEP, 2023).

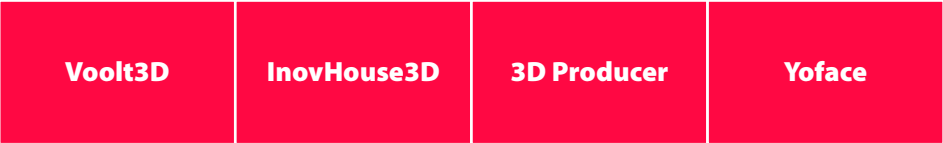
A **Figura 36** apresenta exemplos de startups brasileiras que atuam no mercado de Impressão 3D e realizam algum serviço associado com a impressão de metais.

Startups que atuam no mercado de Impressão 3D de Metais no Brasil

Fonte: Derwent Innovation (referência de 500.000 patentes).

Fig. 36

São Paulo



4

Minas Gerais



1

4. Análise de Demandas por Treinamentos e Qualificação

A impressão 3D industrial oferece um grande potencial para o desenvolvimento de novas aplicações. No entanto, a qualidade da mão de obra é um desafio recorrente no Brasil e em boa parte do mundo. Alguns dos problemas incluem incompatibilidades na oferta de mão de obra, rápida mudança tecnológica, disparidades regionais e falta de investimento em treinamento.

Algumas sugestões de estratégias de políticas públicas para enfrentar esses desafios incluem:

Reforma educacional: tornar o sistema educacional mais relevante para as necessidades do mercado de trabalho, incluindo a capacitação de professores.

Parcerias público-privadas: estimular parcerias entre governo, empresas e instituições de ensino.

Incentivos fiscais: oferecer incentivos para empresas que investem em treinamento e desenvolvimento de funcionários.

Apoio a setores estratégicos: priorizar habilidades em setores estratégicos para a economia brasileira.

Na **Figura 37**, podem ser vistas as diversas etapas da cadeia de processo.

Fig.
37

Etapas da cadeia de processos da impressão 3D

Fonte: 10 Key Skills for Industrial 3D Printing (EOS, 2021)(ADAPTAÇÃO).



A impressão 3D industrial requer uma variedade de habilidades e conhecimentos, incluindo:

Projeto e simulação: um bom design é crucial para o sucesso do processo de fabricação aditiva.

Engenharia de aplicação: é necessário dominar os sistemas e o software para selecionar os parâmetros de peça de qualidade corretos para cada caso.

Processo e materiais: cada material tem suas propriedades únicas e se comporta de maneira diferente no processo.

Habilidades de preparação de dados: compreender o processo de preparação de dados permite otimizar a preparação do trabalho e reduzir construções com falha.

Operação da máquina: antes de operar um sistema, é necessário treinamento intensivo sobre a operação segura e eficiente da máquina e de seus periféricos.

Pós-processamento e acabamento superficial: a manufatura aditiva envolve também o pós-processamento para fazer representações de modelos realistas e precisos.

Definição de qualidade: é importante reconhecer a definição de qualidade na indústria de impressão 3D e como medi-la durante cada etapa do processo.

Desenvolver competências para negócios: é necessário aprender como realizar adequadamente uma análise de caso de negócios.

Produção distribuída: antes de iniciar a produção em série, deve-se simular a produção usando um gêmeo digital.

Para preencher a necessidade de qualificação dos recursos humanos, as principais instituições de formação são universidades, faculdades, centros de pesquisa e escolas técnicas. Esses profissionais são formados em diversas ferramentas, técnicas e tecnologias que podem ser aplicadas à cadeia de processos da impressão 3D.

Um aspecto importante a ser considerado é o perfil do profissional requerido para a impressão 3D de metais.

Fig. 38

Perfil do técnico para atuar com Impressão 3D de Metais

Fonte: Observatório Nacional da Indústria.

Profissional	Funções/Atividades
Técnico em mecatrônica, Tecnólogo em mecatrônica, Técnico em automação industrial	Desenvolvimento, programação e fabricação de produtos por manufatura aditiva
	Desenvolvimento de estruturas e desenhos para peças de metais

Perfil do técnico operador para atuar com Impressão 3D de Metais

Fonte: Observatório Nacional da Indústria.

Profissional	Funções/Atividades
Operador e Programador de manufatura aditiva, Operador de Centro de Usinagem, Mecânico de Manutenção de Máquinas-Ferramentas	Desenvolvimento, programação e fabricação de produtos por manufatura aditiva de metais
	Manutenção de máquinas

Fig. 39

A impressão 3D industrial no Brasil está focada principalmente em soluções para pesquisa e desenvolvimento e prototipagem. No entanto, a falta de especialistas qualificados é um desafio. Para preencher essa lacuna, várias instituições oferecem treinamento e qualificação em áreas relevantes para a impressão 3D de metais:

Treinamento em design 3D: envolve o aprendizado de softwares de design 3D como AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360, entre outros.

Treinamento em manuseio de impressora 3D: inclui o aprendizado de como operar e manter uma impressora 3D.

Treinamento em ciência dos materiais: importante para o conhecimento dos metais e de suas propriedades.

Habilidades de preparação de dados: compreender o processo de preparação de dados permite otimizar a preparação do trabalho e reduzir construções com falha.

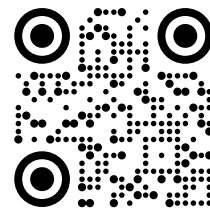
Pós-processamento e acabamento superficial: a manufatura aditiva envolve também o pós-processamento para fazer representações de modelos realistas e precisos.

Definição de qualidade: é importante reconhecer a definição de qualidade na indústria de impressão 3D e como medi-la durante cada etapa do processo.

Desenvolver competências para negócios: é necessário aprender como realizar adequadamente uma análise de caso de negócios.

Produção distribuída: antes de iniciar a produção em série, deve-se simular a produção usando um gêmeo digital.

Instituições como o Instituto SENAI de Inovação e o Centro Paula Souza oferecem cursos técnicos e de graduação que preparam os estudantes para trabalhar com a impressão 3D de metais.



Observatório Nacional da Indústria

CNI Confederação
Nacional
da Indústria

SESI Serviço
Social
da Indústria

SENAI Serviço Nacional
de Aprendizagem
Industrial

IEL Instituto
Euvaldo
Lodi