



Manufatura Aditiva e Injeção Moldagem

Comparando, Contrastando e
Considerando as Oportunidades



A manufatura aditiva, popularmente chamada de impressão 3D, muitas vezes é considerada como um concorrente – ou pelo menos uma tentativa de competir – com o método tradicional de moldagem por injeção para a produção de peças de plástico. Essa narrativa pode ser valiosa, pois a manufatura aditiva pode se destacar em certas aplicações, competindo eficazmente. Isso ocorre à medida que as tecnologias e os materiais utilizados na impressão 3D industrial avançam, surgem e continuam aprimorando processos de produção capazes de fabricar volumes maiores de peças de forma mais eficiente e econômica. Essa competição é boa, até certo ponto. É verdade que nem tudo precisa ser encarado como competitivo, e de fato, entre esses dois processos de manufatura, existe uma certa complementaridade. Para volumes extremamente altos de peças de plástico, na faixa das centenas de milhares, é preciso ser realista: a manufatura aditiva ainda não está no mesmo patamar que a moldagem por injeção.

A impressão 3D tem sido reconhecida como uma ferramenta essencial nas etapas de desenvolvimento de produtos. Possibilita iterações de projeto rápidas e decisões engenhosas na engenharia. Entretanto, a maioria das equipes de manufatura tende a limitar o uso dessa tecnologia à fase de desenvolvimento, utilizando-a apenas como uma ferramenta de prototipagem.

Quando essa abordagem é adotada, é certo que uma oportunidade valiosa está sendo desperdiçada. As tecnologias de impressão 3D avançaram consideravelmente em capacidade e funcionalidade. Isso implica que, para aplicações de baixo e médio volume, bem como para produção de alto mix, baixo volume (HMLV), elas podem competir diretamente com a moldagem por injeção ou até mesmo facilitar a produção de moldes mais eficientes para esse método.

O propósito deste artigo é explorar o escopo de ambos os processos, analisar suas vantagens e desvantagens na produção e identificar as áreas onde podem se complementar efetivamente.

O Panorama Geral

Para começar, é interessante fazer uma breve análise do panorama de cada um desses processos de manufatura dentro do contexto mais amplo da indústria manufatureira global. Para este último, uma fonte menciona que o valor da produção manufatureira global em 2022 foi de US\$ 44,5 trilhões e prevê uma queda para US\$ 44,3 trilhões em 2023, atribuindo isso às questões amplamente documentadas pós-pandemia e aos efeitos do conflito na Ucrânia. É prudente não considerar esses números como valores absolutos; no entanto, para ilustrar e estimar opiniões, eles podem servir como uma base adequada para subsetores específicos, como moldagem por injeção e manufatura aditiva.

Os dois subsetores manufatureiros têm avaliações muito variadas. A GM Insights relata que o "mercado de plásticos moldados por injeção alcançou uma receita superior a US\$ 300 bilhões em 2022... [e] a indústria está projetada para ver uma taxa de crescimento anual composta de 3,5% de 2023 a 2032." Essa projeção está alinhada com a análise da Grand View Research, que estima que "o tamanho do mercado global de plásticos moldados por injeção foi avaliado em US\$ 284,7 bilhões. É previsto que o setor cresça a uma taxa composta de crescimento anual de 4,2% durante

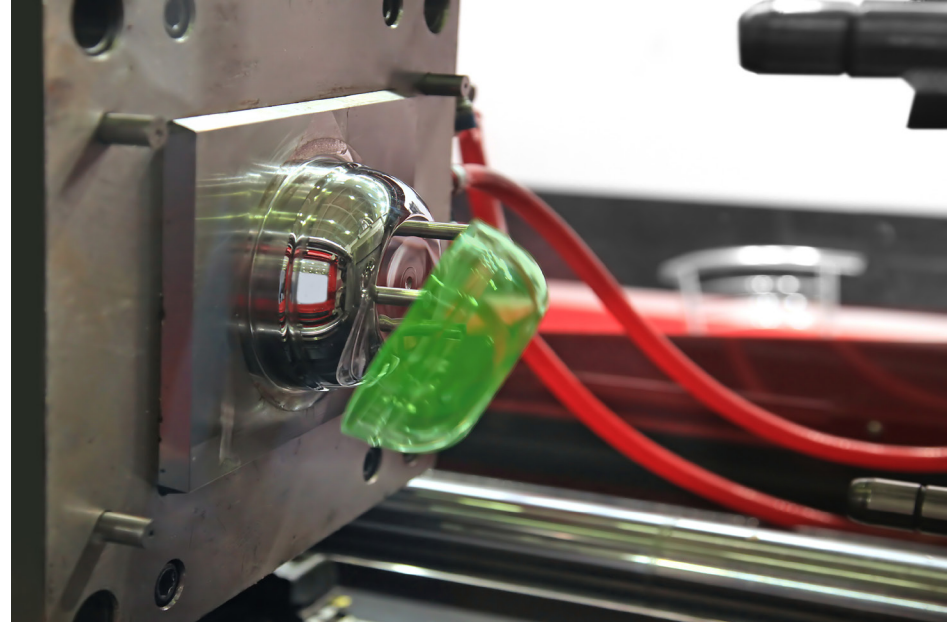
o período de previsão até 2030." Uma análise mais cautelosa é delineada em um recente relatório da Research & Markets, que menciona o seguinte: "O mercado global de moldagem por injeção foi estimado em cerca de US\$ 187,7 bilhões." Pelo menos o último dado qualifica que se trata de uma estimativa!

Certamente, há variações nos valores relatados para o setor de manufatura aditiva também, dependendo da fonte consultada. Desta vez, a Research & Markets não é tão conservadora e diz o seguinte: "O mercado global de manufatura aditiva e materiais é estimado em US\$ 40,4 bilhões e está previsto para atingir um tamanho revisado de US\$ 196,6 bilhões até 2030, com um crescimento esperado a uma taxa anual composta de 21,9% durante o período de análise. O segmento de plásticos está projetado para registrar um crescimento a uma taxa anual composta de 22,3% e alcançar US\$ 118,2 bilhões até o final do período de análise. De acordo com um relatório mais recente da Market Watch, o "mercado global de manufatura aditiva e materiais foi avaliado em US\$ 16,07 bilhões e é esperado que registre um crescimento a uma taxa anual composta de 25,7% durante o período de previsão". Por outro lado, segundo a SmarTech

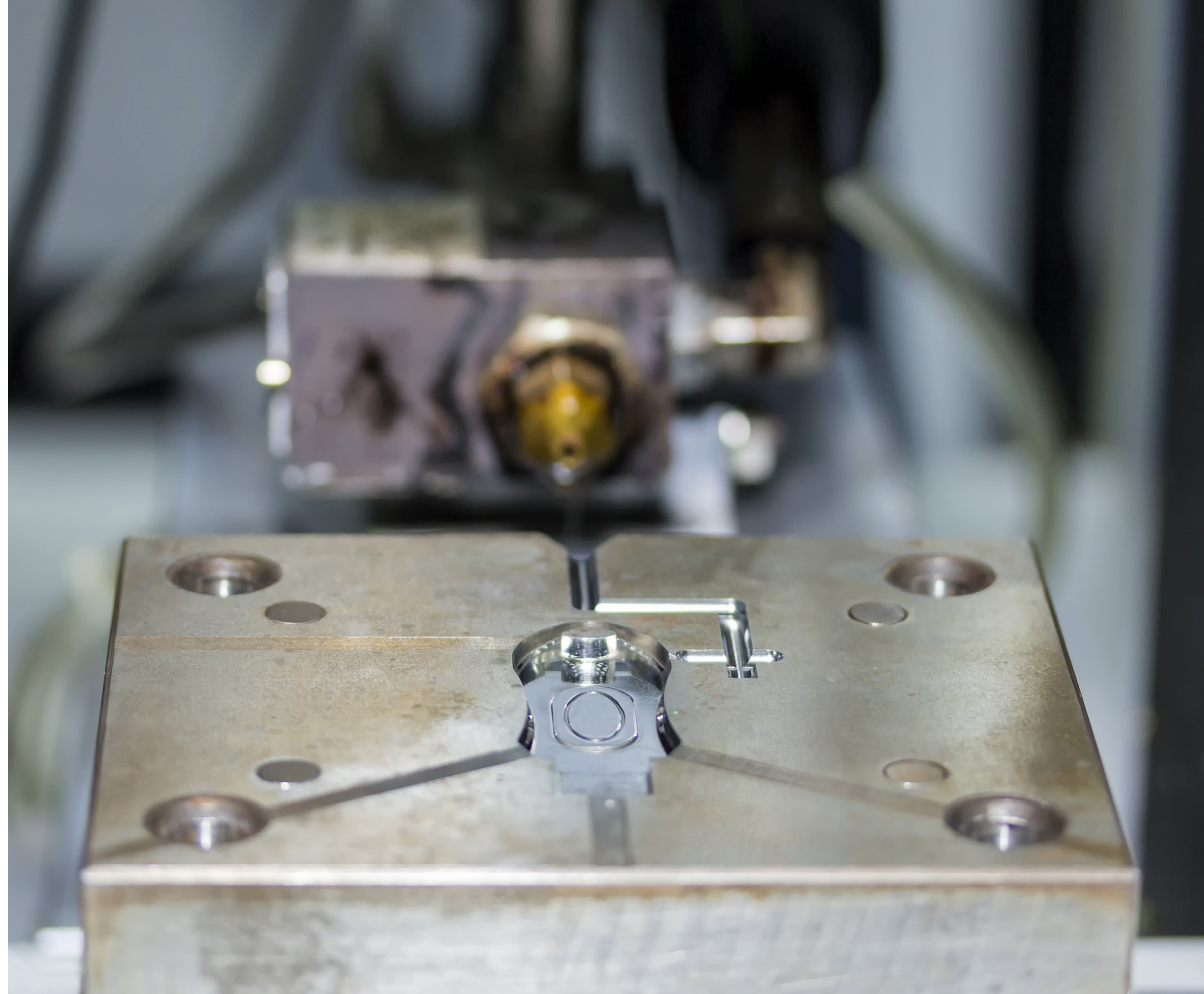
Analysis, o relatório recente indica que a indústria de manufatura aditiva cresceu 23%, chegando a US\$ 13,5 bilhões, mas projeta um aumento para US\$ 25 bilhões até 2025.

De acordo com o mais recente relatório da Wohlers, "a indústria de manufatura aditiva viu um crescimento robusto de 19,5%", avaliando atualmente o setor em US\$ 18 bilhões, com projeções sólidas de crescimento para o futuro.

Se considerarmos os valores médios – US\$ 243 bilhões para moldagem por injeção e US\$ 26,95 bilhões para manufatura aditiva – é evidente que o setor de moldagem por injeção é quase 10 vezes maior do que o setor de manufatura aditiva até o momento. Caso as previsões (que são notavelmente consistentes) para as taxas de crescimento de cada subsetor se mostrem precisas, a tecnologia de manufatura aditiva deverá reduzir significativamente a lacuna entre os setores na próxima década. É digno de nota que os dados de moldagem por injeção se concentram apenas nos plásticos, já os dados de manufatura aditiva abrangem uma variedade de materiais. Portanto, a lacuna entre os dois setores é, na realidade, ainda maior do que aparenta à primeira vista, dentro do escopo deste artigo.



Resumindo Moldagem por Injeção e Manufatura Aditiva



A moldagem por injeção é um processo líder para a fabricação de produtos e componentes de plástico. É frequentemente empregada na produção em massa de peças idênticas, mantendo tolerâncias rigorosas (geralmente entre 50 e 100 microns) e oferecendo acabamentos de superfície superiores. Para volumes substanciais, é um método econômico, preciso e consistente, capaz de produzir peças de alta qualidade

para fabricação em massa, utilizando uma variedade ampla de materiais.

As tecnologias de impressão 3D industrial oferecem cada vez mais alternativas viáveis de produção para os fabricantes de produtos de plástico, com alguns competindo muito bem em acabamento da superfície e tolerâncias (geralmente de 50 a 300 microns). Além disso, a impressão 3D traz consigo uma série de vantagens importantes em

relação à moldagem por injeção porque é um processo totalmente sem ferramentas que também traz toda a flexibilidade sem precedentes quando se trata de design, tanto em termos de geometrias complexas quanto de consolidação de peças. Essa flexibilidade também facilita iterações de projeto de baixo custo antes da produção completa, durante a produção ou para gerações futuras de produtos.

Considerações

Toda equipe de manufatura está ciente da importância de fazer e responder a perguntas cruciais durante o processo de desenvolvimento de novos produtos. Excluindo a etapa de desenvolvimento, as questões subsequentes se concentram na produção e na seleção do processo adequado. Equipes de manufatura experientes provavelmente terão uma ideia do caminho que seguirão — talvez até estejam pré-dispostas a um processo existente. Ou as equipes de manufatura poderiam abordar essas questões com o objetivo de desafiar o status quo?

A aplicação continua sendo o ponto de partida essencial para determinar o processo de manufatura mais adequado para qualquer produto ou componente, como sempre foi.

1. Quão simples — ou complexa — é a peça?

A resposta a essa pergunta pode influenciar diretamente a escolha do processo de manufatura adequado. E, no entanto, você provavelmente já percebeu que nem sempre é tão óbvio quanto:

- peças simples correspondem à moldagem por injeção
- peças complexas correspondem à impressão 3D.

Quando se pode considerar algo tão simples assim?

É verdade que a moldagem por injeção é especialmente adequada para projetos simples e peças com espessuras de parede consistentes. Com certeza, apesar disso, a moldagem por injeção não é limitada à simplicidade e pode acomodar peças com rebaixos e características

complexas. Isso certamente tem um custo elevado, pois, conforme a complexidade da peça aumenta, também aumenta a complexidade do ferramental necessário para a moldagem por injeção. Isso agrega custos significativos e antecipados à produção. Entretanto, uma vez que a ferramenta esteja configurada e pronta para ser utilizada, a produção pode ser iniciada de imediato no local de fabricação.

Contudo, existe um gradiente de complexidade estabelecido para a moldagem por injeção que precisa ser considerado: se os custos forem muito altos, poderão se tornar proibitivos. Se avançar ainda mais, eventualmente atingirá um limite em que se torna impraticável.

É amplamente reconhecido que a impressão 3D pode fabricar peças que seriam muito caras ou até impossíveis de produzir com moldagem por injeção. Esse é um dos muitos benefícios bem documentados da tecnologia de manufatura aditiva. Também é um argumento para posicionar a impressão 3D como uma tecnologia de fabricação "competitiva". O argumento conta com mérito substancial: é fácil encontrar exemplos de geometrias complexas, como treliças, canais internos, saliências, paredes espessas/reforçadas e seções vazadas que os sistemas de impressão 3D industrial são capazes de produzir e que representam desafios para a moldagem por injeção.

Essa capacidade proporciona diversas oportunidades para os designers reduzirem o peso, implementarem características ergonômicas e incluírem logotipos e identificação de peças, entre outras vantagens.

A dimensão de uma peça também é uma consideração fundamental para determinar o método de produção a ser empregado. É interessante notar que tanto a moldagem por injeção quanto a impressão 3D operam de forma mais eficiente na faixa de tamanho de peça pequena e média. Na impressão 3D, os volumes de montagem representam uma limitação. No entanto, é possível fabricar peças grandes em seções menores e, posteriormente, montá-las. No caso da moldagem por injeção, não podemos nos esquecer que o tamanho da máquina pode limitar o tamanho da peça, mas os moldes podem ser construídos em várias peças para produzir componentes que podem ser montados posteriormente. Portanto, os dois processos têm a capacidade de acomodar tamanhos de produtos maiores, mas isso geralmente envolve montagem em etapas posteriores e implicações significativas em termos de tempo e custo.

2. Quantas peças são necessárias no total?

É aqui que fica interessante.

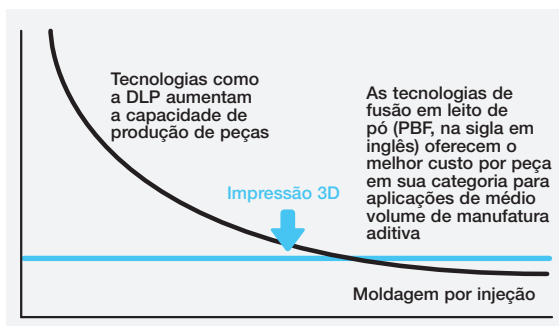
A moldagem por injeção tem sido comprovadamente altamente lucrativa ao longo de muitos anos, especialmente para volumes elevados e muito altos de produtos. Também é uma realidade que a impressão 3D não consegue competir nesse nível. Mas exatamente, o que significa "nesse nível"? Pela experiência, é fácil se perder em detalhes ao tentar especificar números exatos para volumes baixos, médios e altos de produtos. Certamente, há grandes variações dependendo do contexto em que se está analisando, seja no setor da indústria, nas aplicações dentro desse setor, no processo de manufatura, e até mesmo entre os provedores de serviços que oferecem uma variedade de processos de fabricação diferentes.

Com base em várias fontes e uma dose de raciocínio lógico, é possível sugerir um conjunto aproximado, mas razoável, de limites gerais da seguinte maneira:

Baixo volume: Mais de 1.000 peças.

Volume médio: Entre 1.000 e 100.000 peças.

Alto volume: Mais de 100.000 peças



O gráfico acima representa uma curva de custo geral comparando a impressão 3D com a moldagem por injeção. O eixo x representa o número de peças; o eixo y, o custo por peça. Ao longo do espectro e considerando o eixo horizontal, a moldagem por injeção demonstra ser mais rentável. A ausência de números neste gráfico deve-se às constantes mudanças nos valores ao longo da última década, com o ponto de interseção da curva diminuindo continuamente. Reforçando o ponto, a eficácia sempre depende da aplicação específica, mas é importante notar que as capacidades dos processos e da impressão 3D estão em constante evolução e melhoria. Hoje, não é incomum encontrar rodadas de produção na faixa das dezenas de milhares para pequenas aplicações de produtos de plástico usando impressão 3D. Exemplos podem ser

observados nos setores odontológico, médico e de fabricação em geral, incluindo gabinetes e fixadores, entre outros.

Essa observação suscita algumas considerações adicionais sobre os requisitos de volume, que podem influenciar significativamente os custos, a logística e, claro, a sustentabilidade.

2a. As peças são necessárias de uma vez só ou ao longo de vários meses/anos?

Vamos usar um exemplo genérico de uma peça pequena, com média complexidade. Caso uma peça seja necessária em grande volume (superior a 100.000 unidades) em uma única rodada de produção, concordamos que a impressão 3D não competirá eficientemente com a moldagem por injeção. Com certeza, se uma abordagem mais ágil de produção for necessária com volumes médios de um produto semelhante, mas ao longo de um período prolongado, a impressão 3D poderá novamente emergir como uma opção viável para atender à produção sob demanda e reduzir significativamente a necessidade de acumulação e estoque.

Se considerarmos, por exemplo, que 60.000 dessas peças são necessárias ao longo de um período de 12 meses, há a opção de produzi-las de uma vez só por moldagem por injeção, ou de fabricá-las em lotes mensais de 5.000 unidades (ou conforme a demanda) usando impressão 3D.

O que leva a:

2b. Quando e onde você precisa de suas peças?

Mais uma vez, essa questão se refere à agilidade na produção, tanto em relação ao local de produção das peças quanto à forma como são distribuídas. Em vez de produzir 60.000 peças em um único local (como na moldagem por injeção) e distribuí-las globalmente, a impressão 3D é um processo digital que permite a produção das peças em quantidades necessárias e no local em que são necessárias. Isso tem implicações de custo, já que pode reduzir os gastos com transporte consideravelmente, além de causar um impacto ambiental positivo. Um último ponto sobre isso: localizar a produção dessa maneira e aproximá-la dos mercados e dos clientes também auxilia na mitigação dos riscos da cadeia de suprimentos.

3. Custo por Peça

Este é o ponto principal. Possivelmente o mais importante. Mas ainda precisa ser considerado dentro do contexto dos pontos anteriores.




Uma das principais vantagens dos processos de impressão 3D é que eles não necessitam de moldes. A produção do molde de ferramenta para moldagem por injeção é um processo caro e demorado, e tudo deve ser concluído antes mesmo do início da produção em si. E aqui está o ponto crítico: a moldagem por injeção demanda um significativo investimento de capital inicial para iniciar a produção. Conforme descrito anteriormente, a impressão 3D para produção possibilita um modelo de negócios baseado no pagamento conforme o uso, especialmente ao trabalhar com um fabricante contratado, mas também quando a produção é interna.

É nesse ponto que os volumes entram em jogo, pois, para volumes mais elevados, o retorno sobre o investimento (ROI) na moldagem por injeção em termos de custo por peça pode ser significativo. O custo da ferramenta de molde é fixo, portanto, quanto

maior o volume de peças produzidas a partir do molde, menor será o custo por peça. Com a impressão 3D, os custos serão consistentes da peça 1 até passar da peça 20.000 (o gráfico acima, na seção de volume, também ilustra esse ponto).

O gráfico abaixo oferece uma visão geral das comparações de preços para algumas peças específicas e quando e como a impressão 3D, com a tecnologia SAF, pode competir com sucesso.

Comparação de custos de peças – moldagem por injeção e SAF

	Nome da Peça	Dimensão [mm]	Injeção Externa. Custo de Moldagem por peça (US\$)	SAF H350 Custo por peça (US\$)	Economia	Volume total de produção no ponto de equilíbrio	Máximo de Peças por Montagem
	Guia de grampo de cabo	15x17x49	\$ 2,35 5.000 peças/ano	\$ 2,19	7%	19.900 peças	1020
	Suportes	60x55x55	\$ 9,40 500 peças/ano	\$ 4,10	56%	6.536 peças	171
	Conector eletrônico	80x80x52	\$ 119,48 50 peças/ano	\$ 30,61	74%	820 peças	30

Há muitos fatores a serem considerados na equação de custo por peça: Existem as próprias atividades de produção, que englobam máquinas, energia, custos de materiais, mão de obra, pós-processamento, entre outros. Além disso, existem considerações adicionais relacionadas à distribuição, expedição e armazenamento.

4. Iterações

Outra consideração que vale a pena destacar: haverá iterações de produtos e, portanto, mudanças de design? Essa é outra área

em que as tecnologias de impressão 3D proporcionam uma vantagem significativa para a produção contínua, enquanto a moldagem por injeção pode ser restritiva. A fabricação utilizando tecnologias de impressão 3D possibilita uma abordagem contínua e iterativa. As alterações podem ser feitas a qualquer momento com poucas ou nenhuma implicação de custo significativa. Após criar um molde para um produto ou peça específicos, ele é praticamente fixo, ou, pelo menos, feito de aço. Modificá-lo é praticamente impossível, se não muito caro.

5. Materiais

As tecnologias de produção industrial demandam a disponibilidade de materiais poliméricos que ofereçam as propriedades adequadas para a aplicação escolhida. Os materiais poliméricos mais comuns também estão disponíveis para processos de impressão 3D, incluindo termoplásticos como PA11, PA12 e nylon reforçado com vidro e carbono, além de fotopolímeros e termofixos.

Entretanto, apesar dos avanços significativos em materiais especiais de grau de produção para impressão 3D, a gama de opções de materiais ainda é menor em comparação com as milhares de opções disponíveis para moldagem por injeção.

Conforme os fabricantes continuam a perceber os benefícios da impressão 3D para aplicações de fabricação, as empresas de materiais continuam a investir consideravelmente no desenvolvimento de materiais mais "funcionais", incluindo termofixos de fotopolímeros e termoplásticos

de pó e filamento. Atualmente, além da melhoria das propriedades mecânicas, muitos materiais de alto desempenho estão sendo desenvolvidos com funcionalidades adicionais, como resistência a intempéries, ESD (descarga eletrostática), FR (retardamento de chama), FST (chama, fumaça, toxicidade), dielétrico de baixa perda, contato com alimentos e certificações para uso médico. Esses materiais de última geração para manufatura aditiva são claramente projetados para atender às necessidades de peças de uso final que exigem funcionalidades específicas para aplicações específicas.

Essa evolução dos materiais termoplásticos e fotopoliméricos na manufatura aditiva segue de perto a trajetória dos termoplásticos na moldagem por injeção. No passado, os termoplásticos estavam em um estágio semelhante, oferecendo uma gama limitada de opções básicas que cresceram por meio da especialização, uma aplicação de cada vez, para se tornarem a ampla variedade de opções disponíveis hoje.



Esta seção do duto de ar de um sistema automotivo de HVAC foi impressa usando a tecnologia SAF™. Tradicionalmente, uma peça como essa pode ser moldada como duas metades e montada. Com a tecnologia SAF, as duas metades podem ser produzidas como uma única peça, o que reduz a necessidade de montagem pós-processo e os pontos de falha.

Não necessariamente Ou um/Ou outro

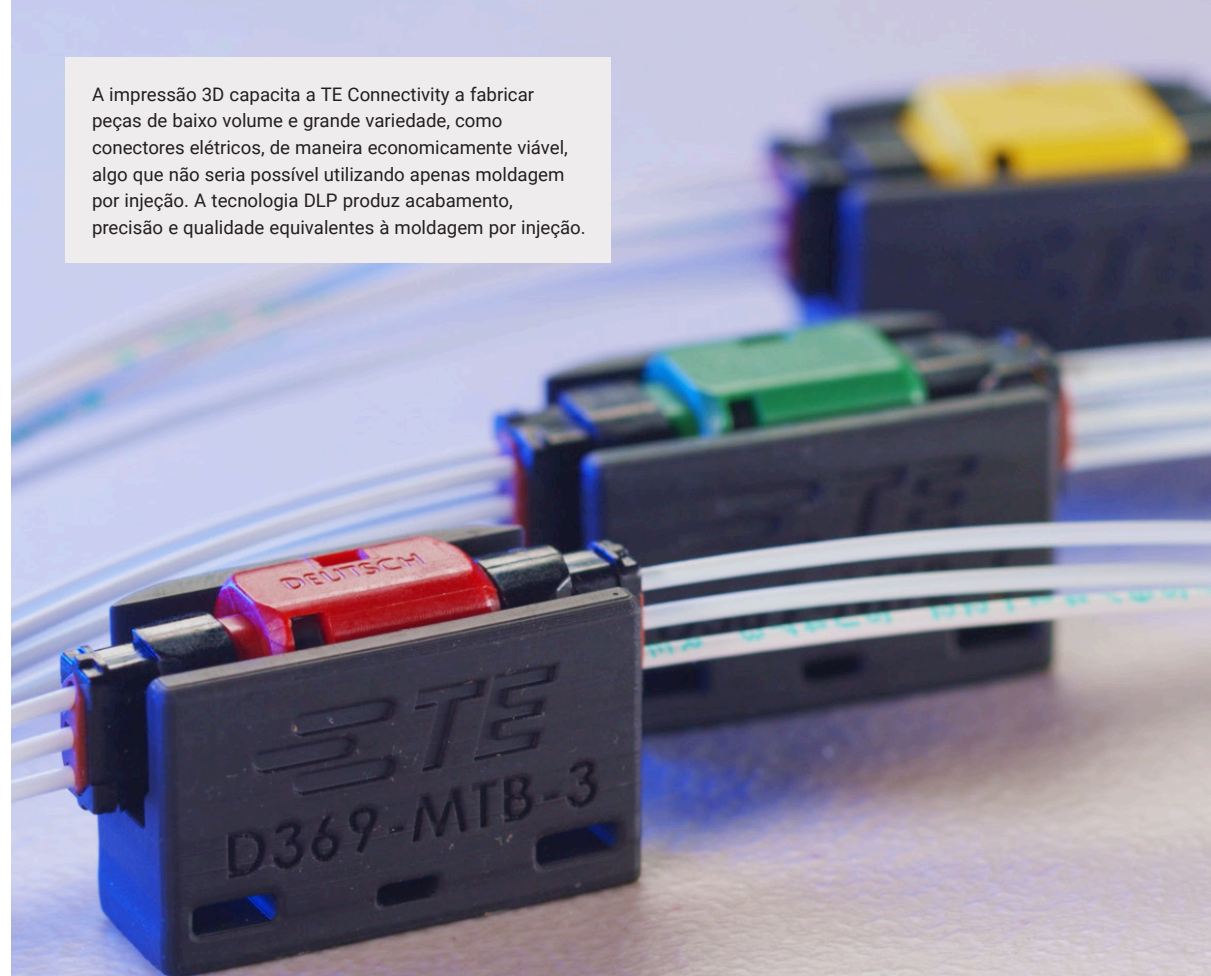
Então, é o seguinte: embora a impressão 3D possa representar uma alternativa viável, eficiente e econômica para a moldagem por injeção em algumas aplicações, ela também pode desempenhar um papel de suporte complementar para a moldagem por injeção. Existem formas pelas quais essas duas tecnologias se complementam de maneira realmente útil, o que pode levar a uma redução significativa de tempo e custos.

No início, destacamos que a impressão 3D continua sendo uma ferramenta essencial para prototipagem. Ela também pode

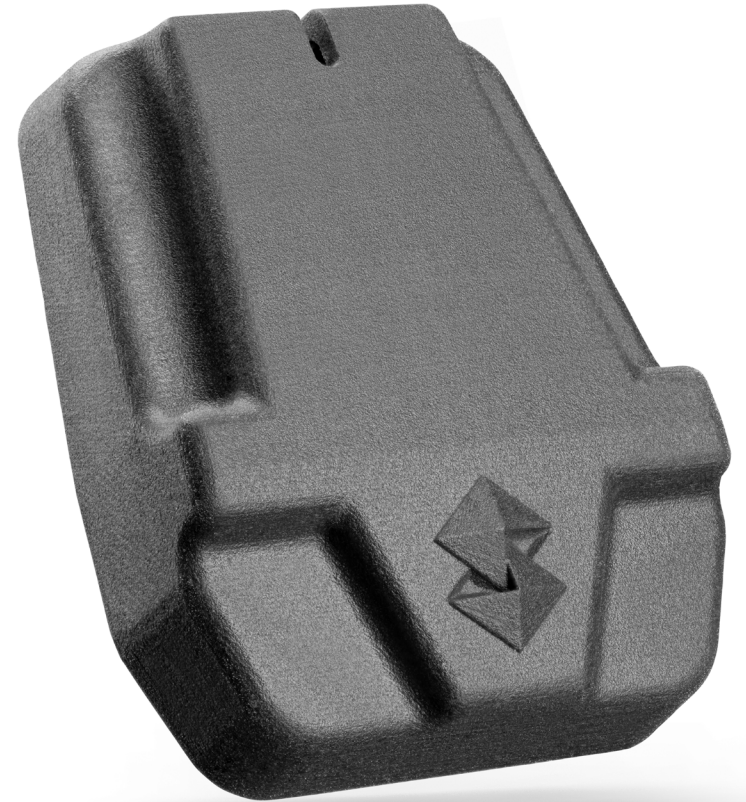
desempenhar um papel crucial no processo de moldagem por injeção em várias outras etapas importantes, do início ao fim. Os protótipos são considerados um elemento fundamental para desenvolver as peças em termos de forma, função e viabilidade de fabricação. Além da prototipagem, a impressão 3D também pode desempenhar um papel como um ferramental de transição para a moldagem por injeção. Nesse caso, uma ferramenta intermediária, produzida de forma rápida e econômica com manufatura aditiva, pode ser utilizada

para ajustar, otimizar e testar o processo antes de investir em uma ferramenta final, que é significativamente mais cara. Além disso, as capacidades dos sistemas de manufatura aditiva de metais possibilitam o uso da impressão 3D para fabricar as próprias ferramentas de moldagem, especialmente quando são necessárias ferramentas complexas com várias cavidades. Materiais de aço para ferramentas e até mesmo alguns metais mais avançados agora foram qualificados para uso em uma variedade de sistemas de manufatura aditiva.

A impressão 3D capacita a TE Connectivity a fabricar peças de baixo volume e grande variedade, como conectores elétricos, de maneira economicamente viável, algo que não seria possível utilizando apenas moldagem por injeção. A tecnologia DLP produz acabamento, precisão e qualidade equivalentes à moldagem por injeção.



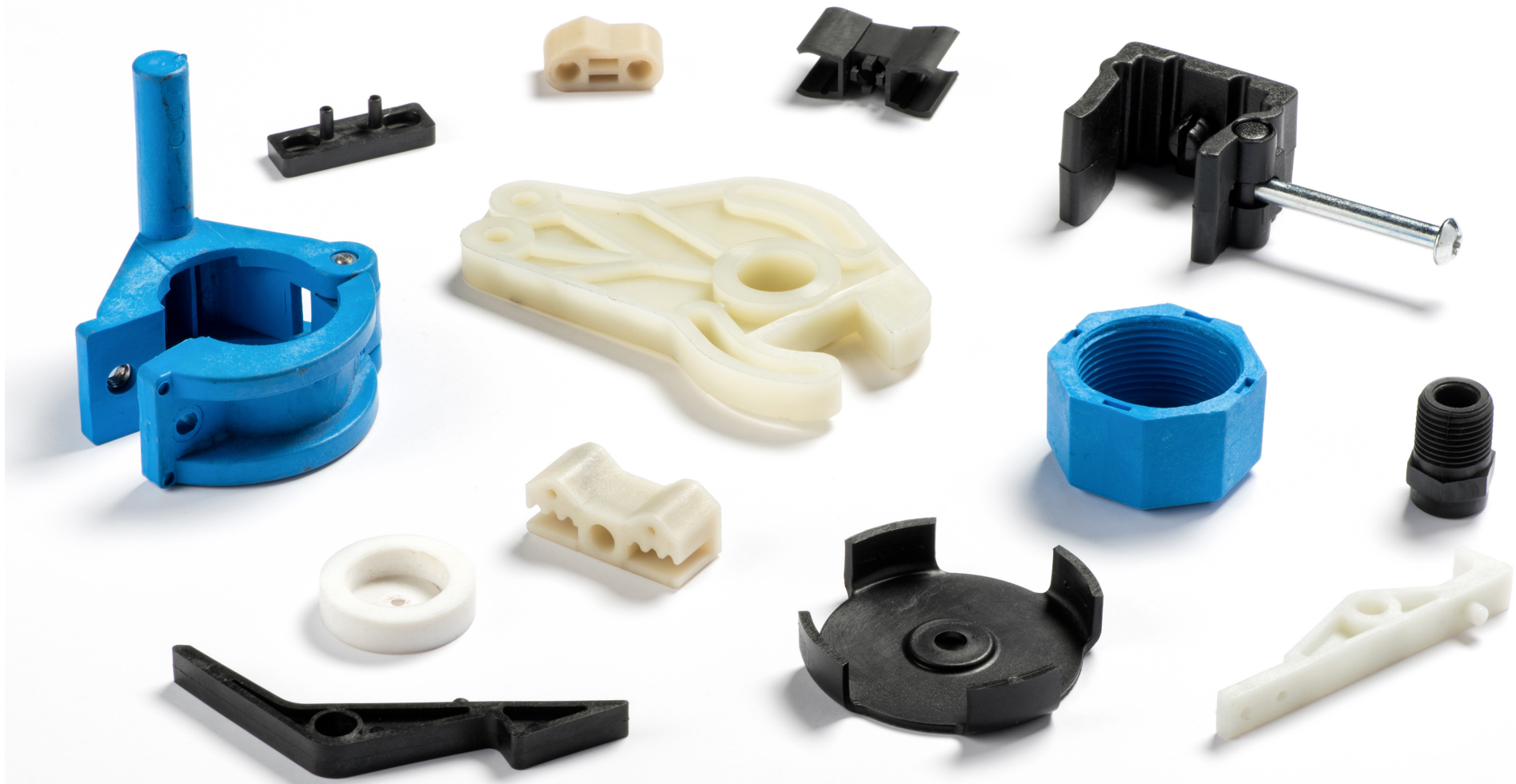
Esta capa típica de sensor de chuva automotivo foi impressa utilizando a impressora 3D H350™ e criada com a tecnologia SAF™. Esta peça apresenta um baixo custo por unidade, com base em 1.000 peças, em comparação com a moldagem por injeção



Resumindo

As tecnologias de impressão 3D mostraram, por meio de suas habilidades e capacidades, que evoluíram além da prototipagem para se integrarem aos processos de manufatura. Essa é uma mudança crucial para aplicações de manufatura, em que a impressão 3D pode ser mais eficiente e econômica. No entanto, é fundamental destacar que a impressão 3D permanece como um processo extremamente valioso para prototipagem e para aplicações de ferramental.

Os fabricantes estão continuamente buscando maneiras de gerenciar os custos à medida que enfrentam pressões e uma competição cada vez mais acirrada. O objetivo deste artigo é fornecer algumas informações sobre como isso pode ser alcançado, considerando uma variedade de opções disponíveis.



Sede da Stratasys

7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491
(ligação gratuita nos EUA)
+1 952 937-3000 (Intl)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)

[stratasys.com](https://www.stratasys.com)

ISO 9001:2015 Certificado

© 2024 Stratasys. Todos os direitos reservados. Stratasys, o logotipo Stratasys Signet, Stratasys Direct Manufacturing, Origin e P3, H350, H Series, SAF, Selective Absorption Fusion, Big Wave e HAF são marcas comerciais ou marcas registradas da Stratasys Inc. e/ou suas afiliadas. A impressora H350 está sujeita a uma licença da Loughborough University Enterprises Limited e Evonik IP GmbH sob as seguintes patentes e/ou patentes relacionadas e pedidos de patentes e membros da família: EP2739457, EP3539752, EP1648686, EP 1740367, EP1737646, EP1459871. Mais informações, incluindo o status atual e vigente dos membros da família, estão disponíveis em <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/>. Todas as outras marcas registradas são de propriedade de seus respectivos proprietários, e a Stratasys não assume nenhuma responsabilidade com relação à seleção, desempenho ou uso desses produtos que não sejam da Stratasys. Especificações do produto sujeitas a alterações sem aviso prévio. eB_P3_SAF_Injection Molding_PT_0923a

