

# ESTUDO DA PROTOTIPAGEM RÁPIDA POR MEIO DA IMPRESSÃO 3D E SEU EFEITO NA REDUÇÃO DE CUSTOS E PRAZOS DOS PROJETOS DE PRODUTO

Abdiel Filipe Zier<sup>1</sup>

Adriano de Nazaré Ferreira Lemos<sup>2</sup>

Edilson de Melo Volpato<sup>3</sup>

Igor de Campos Fatuch<sup>4</sup>

Rafael Pedro de Oliveira<sup>5</sup>

Alexandre Maneira dos Santos<sup>6</sup>

## RESUMO

O presente artigo objetiva apresentar as contribuições do uso da tecnologia de impressão 3D, para a obtenção de protótipos rápidos, principalmente, no que diz respeito às suas vantagens e desvantagens, focando na redução dos custos e do prazo de elaboração dos protótipos. Para tanto, foram analisados casos reais de uma indústria automotiva (multinacional) localizada na cidade de São José dos Pinhais/PR. A análise da eficácia do método da prototipagem rápida, no âmbito da indústria, foi realizada pelo processo de modelagem por deposição de material fundido (FDM), comparando-o às produções convencionais de protótipos como usinagem, fundição e conformação. Após a análise e levantamento dos materiais e métodos existentes de impressão 3D, os resultados obtidos foram significativos em relação à redução de custos e dos prazos, os quais diminuiram num percentual de 82% e 96%, respectivamente, se, comparados a uma produção de protótipos tradicional, com fornecedores externos.

Palavras-chave: Prototipagem Rápida. Impressão 3D. Indústria Automobilística. Custo e Prazo.

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. *E-mail*: abdielzier@gmail.com

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. *E-mail*: adrianoleemos@live.com

<sup>3</sup> Aluno do Curso de Engenharia Mecânica da FAE Centro Universitário. *E-mail*: edilson.mvolpato@gmail.com

<sup>4</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. *E-mail*: igorcfcfatuch@hotmail.com

<sup>5</sup> Aluno do Curso de Engenharia de Produção da FAE Centro Universitário. *E-mail*: rafael.recorteps@hotmail.com

<sup>6</sup> Orientador da Pesquisa. Professor da FAE Centro Universitário. Leciona, no curso de Engenharia de Produção, a disciplina de Projeto de Graduação. *E-mail*: alexandre.santos@fae.edu

## INTRODUÇÃO

A prototipagem é um processo de criação do modelo físico de um determinado produto, que, posteriormente, será utilizado em larga escala. É um produto que ainda está na fase de testes, sendo no tamanho definitivo ou em diferentes escalas, podendo sofrer modificações antes de seu lançamento no mercado.

O protótipo, produto do processo de prototipagem, tem sua palavra composta derivada do grego, formada por “*prôtos*”, que significa “primeiro” e “*týpos*”, que significa “tipo”, cuja tradução literal é “primeiro tipo” (MICHAELIS, 2019). Pode-se dizer, então, que o protótipo é o primeiro modelo do produto e, como de praxe, não será o modelo “perfeito” que as indústrias e os clientes irão requerer, portanto, diversas alterações ainda devem ocorrer para que se alcance o produto desejado.

Todo esse processo irá envolver a administração de: custos e tempo de projeto e de produção do protótipo; custos de armazenagem de futuros protótipos ou antigos; tempo entre o protótipo inicial e o definitivo; e perdas até o protótipo final. A prototipagem rápida é um processo que visa aumentar a velocidade e a flexibilidade, assim como, reduzir os custos de desenvolvimento de protótipos. Conseqüentemente, ela também pode acelerar o lançamento do produto no mercado e reduzir os custos de armazenamento (GROOVER, 2007).

Para Archer (2014), a prototipagem rápida, por meio da impressão 3D, acentua a redução de custos de artigos personalizados, sendo considerada uma tecnologia disruptiva, inovadora e pioneira em uma nova era industrial. A jornada por essa tecnologia já iniciou, no entanto, ainda há muito que se explorar, tanto nas indústrias de manufatura, quanto na pesquisa científica e na saúde.

Partindo desta contextualização, o presente trabalho levanta a seguinte questão: quais contribuições a prototipagem rápida, por meio da impressão 3D, pode apresentar nos ambientes automotivos, considerando-se os diversos tipos de processos e materiais de impressão e, relacionando as produções internas com a terceirização dos serviços?

Com base neste questionamento, foram buscados dados de dentro do contexto industrial automotivo, mais especificamente em uma fábrica localizada em São José dos Pinhais, a fim de verificar se os processos de prototipagem convencionais e os diversos tipos de prototipagem rápida, por impressão 3D, possuem alguma relação, considerando-se custos e prazos de produção de protótipos.

Portanto, como objetivo geral, este trabalho busca apresentar as contribuições da impressão 3D, a partir de dados coletados internamente na empresa escolhida, a respeito da obtenção de protótipos rápidos dentro da indústria automotiva.

Os objetivos específicos são:

- Levantar características gerais dos materiais e métodos da impressão 3D, conforme a aplicação na indústria em estudo;
- Demonstrar os ganhos com a redução de custos e prazos, em casos reais de utilização da prototipagem;
- Apresentar os resultados comparativos de desenvolvimento dos protótipos, referentes à custo e prazo, entre a empresa em estudo e um fornecedor externo.

Prosseguindo, este artigo científico se justifica pela crescente propagação da tecnologia de impressão 3D nos diversos setores econômicos, alcançando também a empresa escolhida para estudo, cujo laboratório de inovação tecnológica teve sua implantação no ano de 2017 e, em virtude da aplicação da nova metodologia e tecnologia de prototipagem, trouxe ganhos que serão discutidos e apresentados posteriormente.

Para atingir os objetivos citados, faz-se necessário compreender como as organizações estão usufruindo dessa tecnologia disruptiva atualmente. Evidenciou-se que, com a introdução da tecnologia de impressão 3D, as organizações obtiveram ganhos diversos e significativos na redução de custos e tempo de produção. Segundo o Automotive Business (2018), a Volkswagen se tornou a primeira fabricante de automóveis a utilizar o processo *HP Metal Jet* para a impressão 3D de peças metálicas. Conforme exposto por Goede (2018), chefe de planejamento e desenvolvimento de tecnologia da Volkswagen, a tecnologia *Metal Jet*, da Hewlett-Packard, está permitindo, pela primeira vez, a produção de um grande número de peças utilizando a impressão 3D, eliminando a necessidade de desenvolvimento e produção de ferramentais e, dessa forma, reduzindo o tempo necessário para a fabricação dos componentes. Isso torna o processo interessante para a produção de grandes quantidades num curto período, pois, até pouco tempo, a impressão 3D só permitia a produção de protótipos ou peças individuais.

No contexto apresentado pelo Automotive Business (2018) e confirmada pela montadora alemã, Volkswagen Newsroom (2018), foi constatada que a impressão 3D pode diminuir drasticamente o valor de algumas variáveis que possam vir a prejudicar ou reduzir a produção de peças. Para uma empresa de grande porte e influência mundial, como a Volkswagen, conseguir reduzir o tempo de produção das diversas peças, significa muito mais do que elevar o número de sua produção, mas também reduzir custos e potencializar o investimento tecnológico e industrial.

# 1 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão de literatura serão apresentados os conceitos teóricos de manufatura aditiva, prototipagem rápida e impressão 3D. O foco será dado à impressão 3D, visando demonstrar seus processos, levantar os tipos de materiais de impressão e, as vantagens e desvantagens do método, de modo a dar embasamento aos procedimentos metodológicos.

## 1.1 MANUFATURA ADITIVA

No final da década de 1980, o termo Manufatura Aditiva foi criado, tendo “como a principal função promover a comercialização e o uso da primeira impressora tridimensional voltada para uso doméstico” (GORNI, 2013). Ainda segundo Gorni, a Manufatura Aditiva se tornou uma boa substituta para os processos tradicionais, como usinagem e fresamento, utilizando a sobreposição de matéria prima em camadas, baseado no desenho 3D concebido em um sistema CAD.

Para Braga (2017, p. 8):

Um processo de Manufatura Aditiva (MA ou *Additive Manufacturing- AM*), também conhecido como Impressão 3D, consiste na criação da forma desejada através da adição de materiais camada por camada. Seu princípio é baseado no fato de que todo objeto pode ser decomposto em diversas camadas e reconstruído com as mesmas, independentemente de sua complexidade geométrica.

Este processo permite fabricar componentes físicos, a partir de vários tipos de materiais, de diferentes formas e de diversos princípios, sendo a construção do componente físico, totalmente automatizada e, de maneira relativamente rápida, quando comparada aos meios tradicionais de fabricação (VOLPATO, 2017).

## 1.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA E IMPRESSÃO 3D

O processo de prototipagem rápida destina-se à criação do produto, mediante camadas de papel, cera ou plástico, as quais, conseqüentemente, dão origem a um objeto sólido. Esse processo pode ser chamado de “aditivo”, pois acrescenta o material de forma gradativa para a criação de um objeto, diferenciando-se de processos, como de usinagem, o qual é considerado “subtrativo”, uma vez que remove o material a partir de um bloco sólido (GORNI, 2013).

Além do papel, da cera e do plástico, sabe-se que a prototipagem rápida permite a utilização de outros materiais como cimento, gesso, vidros, concretos, areia, tecidos, madeira, alimentos, tecidos humanos, metais, resinas diversas e cerâmicas (BECHTHOLD et al., 2015; DECKARD, 1989; MACKLEY, 2014; STRICKLAND, 2016; SIN, 2016; ZHAI et al., 2014).

Apesar de nomeada como rápida, a prototipagem, dependendo do tamanho e complexidade do objeto desenvolvido pelo CAD, pode demorar entre 3 e 72 horas, no entanto, ainda assim é mais acelerada que processos comuns, que podem demorar dias ou meses para a conclusão do projeto de um protótipo (GORNI, 2013).

A impressão 3D consiste nas seguintes etapas: criação do objeto tridimensional computadorizado com formato de arquivo *Computer Aided Design* (CAD); conversão do projeto em formato de arquivo *Stereolithography* (STL), para a leitura do equipamento, que construirá o objeto; fatiamento do desenho, cujos detalhes e acabamentos se tornarão melhores com um maior número de camadas; impressão do objeto físico e; limpeza e acabamento do produto final (GORNI, 2013).

Existem vários fatores que podem determinar a resistência física da peça, tal como, a espessura das camadas do material adicionado e a orientação que a peça está sendo impressa. Nesta última, deve ser analisada qual é a finalidade de uso do protótipo e quais elementos estarão sujeitos a maiores esforços físicos, sendo que, neste caso, as peças devem ser construídas paralelas ao eixo XY, o qual acarretará a criação de objetos com menor precisão. Ademais, para o caso de protótipos com paredes mais finas, o mais aconselhado é que ele seja construído perpendicular ao eixo XY (VOLPATO, 2007, p. 127).

### 1.2.1 Métodos de Impressão 3D

A impressão 3D tem vários tipos de processos e, conforme Raulino (2011) ensina, a Prototipagem Rápida (*RP – Rapid Prototyping*), também conhecida como máquinas de impressão 3D, é um processo de fabricação com adição de materiais em camadas planas, tendo sua origem no final da década de 80, devido à necessidade de redução de custos das indústrias no processo de desenvolvimento de produtos.

Ainda segundo Raulino (2011), mostra-se pertinente discorrer sobre cinco técnicas de processos para a impressão 3D, são elas:

1. FDM (*Fused Deposition Modeling*): técnica de baixo custo de simples utilização e fácil armazenagem, fabricado com filamento fundido;

2. SLS (*Selective Laser Sintering*): técnica de alto investimento, que cria objetos utilizando diferentes tipos de materiais, o laser usado pela máquina funde as pequenas partículas em pó, permitindo assim uma precisão maior no produto final;
3. SLA (*Stereo Litho Graphy*): primeira técnica de impressão 3D, utilizando um laser na resina líquida, sendo necessária a retirada de resíduos após a impressão;
4. LOM (*Laminated Object Manufacturing*) – método de impressão baseado em folhas de papel, oferecendo baixo custo;
5. 3Dprint (*Three-dimensional Printing*) – com base de camada em pó e adesivo líquido, oferecendo rapidez e visualização.

O Quadro 1 apresenta um comparativo entre os processos de prototipagem rápida no Brasil, relacionando os principais fatores determinantes.

QUADRO 1 – Características da prototipagem rápida no Brasil

Fatores Determinantes	Processos				
	LOM	FDM	SLA	SLS	3DPrint
Variedade de Materiais	Pequena	Média	Pequena	Grande	Média
Translucidez	Não	Sim	Sim	Não	Não
Qualidade Superficial	Regular	Regular	Regular	Boa	Boa
Pós-Acabamento superficial	Baixa	Regular	Regular	Boa	Boa
Precisão	Baixa	Regular	Excelente	Boa	Boa
Resistência ao Impacto	Baixa	Boa	Regular	Boa	Baixa
Resistência a Flexão	Baixa	Excelente	Baixa	Excelente	Baixa
Custo do Protótipo no Brasil	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio
Pós-Processo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pós-Cura	Não	Não	Sim	Não	Não

FONTE: Canciglieri et al. (2015)

### 1.2.2 Materiais de Impressão 3D

Para manufatura do protótipo, independentemente do tipo de processo, a escolha do material está relacionada com as características físicas desejadas ao final da impressão. Neste levantamento serão abordados somente os materiais disponíveis pela empresa em estudo, sendo eles: PLA, ABS, ABS-PC e ASA.

Segundo a Stratasys (2019), os materiais citados podem ser descritos da seguinte forma:

1. PLA (Ácido Polilático): termoplástico biodegradável (nas condições corretas) derivado de recursos renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar. É um dos bioplásticos mais populares, usado para muitas aplicações que vão desde copos de plástico até implantes médicos.
2. ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno): tipo de plástico formado por monômeros, que tem grande resistência química e durabilidade, com estabilidade em altas temperaturas, boa resistência a impacto, de fácil processamento, com brilho e composto com um material rígido de fácil manuseio.
3. ABS-PC (Acrilonitrila Butadieno Estireno / Policarbonato): composto termoplástico de engenharia de alto impacto, ideal para prototipagem funcional, ferramental e manufatura de baixo volume. Tal material obtém o melhor entre os dois elementos: a resistência mecânica e resistência ao calor do PC e, a flexibilidade do ABS. O ABS-PC também oferece excelente definição de recursos e acabamento da superfície.
4. ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) trata-se de um termoplástico que combina a resistência mecânica, a resistência aos raios UV, a resistência à água e com um grande acabamento.

### 1.2.3 Vantagens e Desvantagens da Impressão 3D com o Método FDM

A *Fused Deposition Modelling* (FDM) é um tipo de modelagem extremamente versátil, podendo ter sua aplicação em diversos setores, como no alimentício, agrícola, hospitalar, imobiliário, de entretenimento, automotivo, aeroespacial, eletrônico, bélico, artístico, acadêmico, podendo, também, ser utilizado domesticamente (VASHISHTHA; MAKADE; MEHLA, 2011).

Algumas das principais vantagens da prototipagem rápida por meio da impressão 3D são: facilidade de personalização e customização; criação de oportunidades, produtos, soluções e técnicas ilimitadas para profissionais ou entusiastas; liberdade para a criação de diversos designs; alta interação com o protótipo de maneira rápida e modificável; redução de restrições quanto às máquinas, moldes e processos de montagem; alta qualidade, integridade e precisão dos protótipos; simplificação das cadeias de suprimentos; permissão de práticas mais sustentáveis; permissão de uma resposta rápida às variações do mercado; redução significativa do *Lead Time* do protótipo; e permissão de redução da complexidade da produção e do peso de peças que possam compor um automóvel ou até mesmo veículos aéreos e espaciais (CSC, 2012).

Ainda, de acordo com o exposto no CSC de 2012, outras vantagens são: cumprimento das exigências mais rigorosas do mercado; otimização da produção dos protótipos, eliminando custos e etapas que não agregam valor; permissão de mais avaliações do protótipo, por parte do cliente, sem maiores custos ou tempos de produção comparados aos métodos convencionais como a manufatura subtrativa; permissão da detecção de erros antes do envio para a produção; maior confidencialidade devido ao desuso da terceirização, cujo qual pode acarretar em espionagem industrial; redução de volumes de estoque; redução da perda de materiais que compõem o protótipo; e preços de impressoras acessíveis aos institutos acadêmicos e de medicina.

As desvantagens podem ser notadas, como apresenta Gorni (2013), em relação à baixa velocidade de construção, sendo continuados os esforços no sentido não só de aumentar a velocidade, como também elevar os volumes das peças produzidas. A baixa velocidade de construção, somada aos altos custos que dependem das dimensões da peça ou de seus materiais, podem reduzir a capacidade produtiva e elevar o preço do produto aos consumidores finais.

Além das desvantagens citadas por Gorni, segundo Yongnian et al. (2009, p. 6 e 7), o processo de formação disperso-acumulado, método que forma uma peça, primeiro dispersando os materiais (em estados gasosos, líquidos ou sólidos) em pontos ou linhas e, em seguida, empilhando-os em camadas, é sempre acompanhado por um processo de mudança de fase e variação de temperatura dos materiais, causando tensões residuais. Medidas como pré-aquecimento ou pós-aquecimento podem reduzir as tensões até certo ponto, mas sem satisfazer completamente. Há também a limitação de materiais disponíveis no mercado, sendo a tecnologia de prototipagem rápida altamente dependente do próprio material. O material não só deve ser adequado para o processo de formação disperso-acumulado e pós-processamento, mas também deve possuir específicas resistências mecânicas e funções após a formação. Além da limitação de materiais, pode ocorrer também uma insuficiência de precisão de formação. A precisão é restringida pela escala de unidade. A baixa precisão requer pós-processamento para compensar, consumindo mais tempo e reduzindo tanto a flexibilidade quanto a rapidez.

Apesar da constante evolução, a prototipagem rápida ainda possui um custo técnico alto. É uma integração de altas tecnologias. Atualmente é utilizada para produção única ou em baixa escala, com algumas exceções surgindo pelo mundo, mas o custo fixo médio ainda é alto. E os filamentos especiais preparados são geralmente muito mais caros do que outros materiais industriais disponíveis (YONGNIAN et al., 2009, p. 6 e 7).

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho buscou um levantamento bibliográfico afim de obter uma resposta para a hipótese inicial criada. Sendo assim, optou-se pela realização de uma pesquisa bibliográfica, cuja definição é aquela que transcreve determinada dificuldade, baseando-se em referências teóricas, comumente materiais científicos publicados em revistas, livros, dissertações e teses relativas ao tema estudado (CERVO; BERVIAN, 2002, p. 65).

Adicionalmente, foram analisados dados de 219 casos, da montadora de veículos escolhida, no ano de 2019, nos quais foram utilizados o método de prototipagem rápida ao invés dos métodos tradicionais como usinagem, injeção plástica, conformação e fundição. Os resultados dos relatórios de protótipos impressos foram analisados com o intuito de demonstrar a viabilidade e a inovação da prototipagem rápida nos dias atuais.

Afim de dar embasamento e complementar o estudo, foram levantados os custos de impressão 3D, tanto da fabricação de protótipos dentro da empresa quanto em fornecedores externos.

### 2.1 LEVANTAMENTO DE CUSTO

Para a determinação do custo interno, contabilizou-se os gastos de implementação do laboratório com *payback* (tempo de retorno do investimento) de 10 anos, material de impressão, custo de energia, custo de manutenção, custo de falhas, custo de acabamento e teste de funcionalidade, sendo o custo da impressão, a somatória dos gastos apresentados no QUADRO 2.

QUADRO 2 – Custo interno

	Tipo de filamento	ABS
DESPESAS DE PRODUÇÃO	Valor do quilo de filamento (R\$)	116,00
	Preço por kWh (R\$)	0,6
	Consumo da máquina (W)	360
	Depreciação por hora	1%
	Média de falhas	3%
RETORNO DO INVESTIMENTO DA MÁQUINA ( <i>PAYBACK</i> )	Tempo desejado (mês)	60
	Valor da máquina (R\$)	300.000,00
	Horas por dia	16
	Dias por mês	20
	Valor a adicionar por hora (R\$)	15,63

FONTE: Sistema interno da empresa

A prototipagem interna conta com as vantagens de utilizar a equipe de manutenção e de desenvolvimento de projeto da fábrica, além do portal interno, para atender as demandas de impressão, diluindo, assim, os custos com mão de obra.

No tocante aos processos de produção externa, quaisquer que sejam, como usinagem, forjamento, injeção de polímeros, conformação mecânica e outros processos, as despesas não foram expostas na sua totalidade nos orçamentos, entretanto, a pesquisa realizada permitiu estimá-las, devido aos dados fornecidos por uma empresa prestadora de serviços de prototipagem.

A tabela 1 exibe os custos para o processo de usinagem como: mão de obra, fluidos de cortes, energia elétrica, degradação do equipamento, manutenção, orçamento e lucro, todos compondo o valor/hora.

Além dos custos supramencionados, devem-se adicionar os custos de logística, materiais, margem de lucro sobre o material e criação do projeto. Vale ressaltar que os materiais metálicos e polímeros sólidos tem um valor, significativo, agregado na peça final.

TABELA 1 – Custo externo

CUSTO HORA - MÁQUINA (2019)			
Máquina	Custo/Hora (R\$)		
	(R\$)	(min)	(s)
Torno Centur 35D (Torno CNC)	110,08	1,83	0,03
Torno Centur 30D (Torno CNC)	90,20	1,51	0,03
Discovery 1250 (Centro de Usinagem)	141,12	2,35	0,04
Discovery 1500 (Centro de Usinagem)	155,23	2,59	0,04
Discovery 3000 (Centro de Usinagem)	179,80	3,00	0,05
Fresadora Ferramentaria	60,68	1,01	0,02
Fresadora Universal	67,70	1,13	0,02
Afiadora Universal	90,32	1,51	0,03
Serra St 5010	65,00	1,08	0,02
Serra St 3620	65,00	1,08	0,02
Lixadeira / Rebarbadora	40,00	0,67	0,01
Chanfradeira / Furadeira	40,00	0,67	0,01

FONTE: Empresa Prestadora de Serviço

Não foi possível levantar dados satisfatórios para os demais processos, pois, cada projeto tem suas particularidades e especificações como, por exemplo, para a realização de um protótipo derivado da injeção de plástico, é necessária a construção de um molde, a definição da quantidade de peças a serem injetadas e dos tipos de materiais, dentre outras premissas e limitações, uma vez que, grandes ajustes de moldes ou reparos são custosos, o que muitas vezes inviabiliza o uso para protótipos.

## 2.2 ESTUDO COMPARATIVO

A obtenção dos dados, da empresa estudada, só foi possível com a colaboração de um dos integrantes do grupo, que exerce atividades na empresa e participou da implantação do laboratório de impressões 3D.

Para um melhor rendimento de estudo, utilizou-se o sistema Neomind Fusion, uma plataforma de BPM (*Business Process Management*), que compila todos os pedidos de impressão, suas necessidades e observações, referentes à utilização do protótipo, para que a impressão possa ser realizada, garantindo as características desejadas como dureza, resistência à temperatura, resistência à impacto e outras.

Os cálculos são feitos diretamente no *software* da impressora 3D, neste caso, o *software* GrabCAD. O equipamento de impressão utilizado nos casos posteriores se tratará do Stratasys F370. No *software* são imputadas as informações de qual material será usado, a espessura da camada (quanto mais fina, mais detalhada será a peça) e o material do suporte. Também é definida em qual orientação a peça será impressa, esta pode definir qual a resistência mecânica da peça em determinadas partes, sendo muito importante quando a peça, em questão, deve ser encaixada e possui “clips”, nos quais serão aplicadas forças maiores. Ainda, o programa calcula, conforme as definições aplicadas, qual o montante será utilizado do material de impressão e de suporte, além do tempo estimado de impressão:

FIGURA 1 – Estimativa de material e tempo de impressão (GrabCAD)

Tray Estimations		
1843	Print Time	2h 15m
	Model Material (cm <sup>3</sup> )	24.646
	Support Material (cm <sup>3</sup> )	14.466

Fonte: Sistema interno da empresa.

Com base na estimativa do *software*, referente aos materiais de impressão e suporte, em cm<sup>3</sup>, é utilizada uma tabela com custos relativos a cada material, além dos custos de bandeja de impressão e cabeçote, que são contabilizados por tempo de uso médio.

TABELA 2 – Custos de materiais por cm<sup>3</sup>

STRATASYS					
Material	VOLUME (cm)	VALOR POR CAIXA	POR CM <sup>3</sup>	VOLUME PEÇA	PREÇO PEÇA
PLA	984	R\$ 521,34	R\$ 0,53	0	-
ASA	1.475	R\$ 2.289,50	R\$ 1,55	24,646	R\$ 38,26
PC-ABS	1.475	R\$ 1.710,00	R\$ 1,16	0	-
QSR	984	R\$ 1.529,50	R\$ 1,55	14,446	R\$ 22,45
TPU	983	R\$ 2.016,00	R\$ 2,05	0	-
CABEÇOTE (minutos)	1 80000	R\$ 16.000,00	R\$ 0,09	175	R\$ 15,56
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ R\$ 76,27</b>

FONTE: Sistema interno da empresa.

Depois de obtido o custo, e após sua validação, a peça é adicionada à fila de impressão. Isto permite a comparação de custo e prazo, entre a construção do protótipo dentro da empresa e a terceirização do serviço.

Devido à inviabilidade de realizar os cálculos dos custos de produção externo das 219 aplicações, a análise foi realizada via cotações, disponibilizadas pelos fornecedores e disponível no apêndice deste trabalho.

### 3 RESULTADOS E CASOS TESTADOS

Verificou-se os resultados da aplicação da prototipagem 3D na empresa, relacionando os custos e tempo de entrega da terceirização da prototipagem convencional. Dos casos estudados, são apresentados alguns exemplos de aplicação com ganhos significativos:

Caso 1: Necessidade de desenvolvimento de produto da engenharia. Teste de montabilidade e conforto, entre os passageiros no banco traseiro do veículo, após a inserção do terceiro ponto de apoio do cinto de segurança.

Nesta aplicação, foi realizado o comparativo entre o protótipo em impressão 3D e a Injeção Plástica. A grande diferença de valores e tempo se deu, devido à necessidade de desenvolvimento do molde para a injeção de polímeros. A prototipagem se fez eficaz, pois, possibilitou a tomada de decisão, visto que, neste caso, a empresa ainda estudava a viabilidade de implementação do terceiro ponto de fixação do cinto para o acento central, ou se mudaria o veículo para quatro ocupantes.

TABELA 3 – Comparativo entre Injeção Plástica e Impressão 3D

CINTO CENTRAL 3 PONTOS		
Produção	Externa	Interna
Custo (R\$)	37.743,34	2.519,58
Tempo (dias)	45	5
Método	Injeção Plástica	Impressão 3D

FONTE: Sistema interno da empresa

FIGURA 2 – Caso de aplicação 1



FONTE: Sistema interno da empresa

Caso 2: Implementação de novo produto. Teste de montagem de uma nova rampa de combustível com defletor.

Devido a mudança da legislação, foi necessário inserir uma nova rampa de combustível (flauta), com defletor, para os novos motores, porém, para a continuidade do projeto, foi de suma importância o teste de montagem da peça com o protótipo. A peça seria fornecida em metal e fabricada por estamparia. Todavia, com a inviabilidade de aguardar 30 dias pela primeira peça, a impressão 3D pôde suprir a necessidade do projeto na realização de teste.

TABELA 4 – Comparativo entre Estampagem e Impressão 3D

DEFLETOR DA RAMPA		
Produção	Externa	Interna
Custo (R\$)	13.148,32	932,86
Tempo (dias)	30	5
Método	Estampagem	Impressão 3D

FONTE: Sistema interno da empresa

FIGURA 3 – Caso de aplicação 2



FONTE: Sistema interno da empresa

Caso 3: Após alteração do projeto, para adequação à norma, houve a necessidade de alteração no volante e platô de embreagem. Com isso, era preciso realizar os testes de montabilidade, para verificar possíveis interferências com a caixa de transmissão. O protótipo em impressão 3D permitiu realizar excessivos testes, antes de confirmar o novo produto. A razão da redução expressiva do tempo, conforme a tabela 5, foi devido à dispensa de importação do produto/protótipo direto do fabricante, além do tempo de alteração do projeto.

TABELA 5 – Impressão 3D x Conformação e importação

VOLANTE DO MOTOR E PLATÔ DE EMBREAGEM		
Produção	Externa	Interna
Custo (R\$)	17.392,14	892,74
Tempo (dias)	60	8
Método	Estampagem e Importação	Impressão 3D

FONTE: Sistema interno da empresa

FIGURA 4 – Caso de aplicação 3



FONTE: Sistema interno da empresa

Realizando a média aritmética, da amostragem de 219 impressões no ano de 2019 e, com as informações obtidas pela empresa que contribuiu para a pesquisa, é possível verificar que o gasto de produção, no laboratório de prototipagem, ficou em torno de 18% do custo que essas peças teriam se fossem encomendadas em um fornecedor externo. Em relação ao cálculo para tempo, a prototipagem interna utilizou apenas 4% do tempo que essas peças levariam para serem construídas se fossem encomendadas no mesmo fornecedor.

Diante disso, os custos de máquina, energia, peças refugadas, análises mecânicas e entre outros, estão considerados na implementação do laboratório e serão diluídos ao longo do prazo. Assim sendo, o principal objetivo do uso da prototipagem, dentro da empresa, é aumentar a velocidade de execução dos projetos dos veículos e torná-los mais ágeis.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Foi proposto nesta pesquisa demonstrar os resultados da tecnologia de prototipagem rápida, por meio da impressão 3D, com foco no efeito de redução de custos e prazos dos projetos de produto, dentro da indústria automotiva, mostrando as principais vantagens e desvantagens do seu uso e explorando casos reais da montadora.

O principal benefício identificado nessa pesquisa foi a possibilidade da realização de testes para validação das peças finais, utilizando os protótipos gerados no laboratório de prototipagem rápida, assim como, os ganhos obtidos com a escolha desta tecnologia para a produção de protótipos, em detrimento do fornecimento externo, considerando processos convencionais de prototipagem, tendo em vista a constatação da redução de 96% de tempo de produção e 82% de custos, com as impressões 3D.

Com os diferentes dados obtidos a respeito da prototipagem rápida, estudada neste trabalho, é possível afirmar que a utilização da impressão 3D trará ganho de tempo e redução de custos, tanto para as grandes indústrias quanto para o consumidor final, além de já estarem contribuindo com o desenvolvimento da indústria 4.0, sendo, inclusive, um de seus pilares.

Finalmente, para as futuras pesquisas acadêmicas, acerca da impressão 3D, é sugerido o estudo da Sinterização Seletiva a Laser (SLS) com materiais metálicos, método que poderá surtir efeitos na redução de tempos de produção de moldes, desperdício de matéria prima, além da criação de objetos mais complexos e detalhados, podendo ser um método alternativo à meios convencionados vistos até aqui.

## REFERÊNCIAS

- ARCHER, R. Reflexões sobre tecnologia assistiva. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA ASSISTIVA DO CNRTA, 1., Campinas. **Anais...** Campinas, 2014.
- AUTOMOTIVE BUSINESS. **Volkswagen é a 1ª a usar peças de metal impressas em 3D**: novo processo mostrado em Chicago tem parceria da HP e da GKN. 2018. Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/28033/volkswagen-e-a-1a-a-usar-pecas-de-metal-impressas-em-3d>>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- BECHTHOLD, L. et al. 3D printing: a qualitative assessment of applications, recent trends and the technology's future potential. **Studien zum Deutschen Innovations System**, Berlin, v. 12, n. 17, p. 45-65, Oct. 2015.
- BRAGA, L. M. **Manufatura aditiva**: uma análise de aplicações atuais. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- CANCIGLIERI, O. Jr.; AGUILAR, S. Jr.; SANT'ANNA, A. M. O. Método de decisão dos processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 345-355, abr. 2015.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- CSC. 3D Printing and the future of manufacturing. In: LEADING EDGE FORUM, 16., 2012, Falls Church. **Proceedings...** Falls Church: Computer Sciences Corporation, 2012.
- DECKARD, C. R. 1986. **Method and apparatus for producing parts by selective sintering**. US Patent n. 4863538, 5 set. 1989.
- GOEDE, M. **Introducing HP Metal Jet Technology at IMTS 2018**. 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=x31L2v-dxE4>>. Acesso em: 8 out. 2019.
- GORNI, A. A. Prototipagem rápida, a revolução 3D. **Plástico Industrial**, São Paulo, nov. 2013. Disponível em: <[http://www.gorni.eng.br/Gorni\\_PI\\_Nov2013.pdf](http://www.gorni.eng.br/Gorni_PI_Nov2013.pdf)>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- GROOVER, M. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. Boston: Prentice Hall, 2007.
- MACKLEY, C. J. **Reducing costs and increasing productivity in ship maintenance using product lifecycle management, 3d laser scanning and printing**. 2014. 134 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Naval Postgraduate School, California, 2014.
- PONCHIROLLI, O. **Capital humano**: sua importância na gestão estratégica do conhecimento. Curitiba: Juruá, 2019.
- PROTÓTIPO. In: MICHAELIS. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=prototipo>>. Acesso em: 3 dez. 2019.
- RAULINO, B. R. **Manufatura Aditiva**: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição). 2011. 123 f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SIN, M. L. **Achieving ship's mission flexibility through designing, printing and operating unmanned systems with additive manufacturing and delayed differentiation**. 2016. 98 f. Thesis. Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2016.

STRATASYS. **O que é a tecnologia FDM?** Disponível em: <<http://www.stratasys.com/br/imprensoras-3d/technologies/fdm-technology>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

STRICKLAND, J. D. Applications of additive manufacturing in the marine industry. In: LOGISTICS IN FOCUS, 4., 2016, Filadelfia. **Proceedings...** Filadelfia: WTG, 2016.

VASHISHTHA, V.; MAKADE, R.; MEHLA, N. Advancement of rapid prototyping in aerospace industry: a review. **International Journal of Engineering Science & Technology**, Dallas, v. 3, n. 3, p. 2486, Nov. 2011.

VOLKSWAGEN NEWSROOM. **3D printing in action**. 2018. Disponível em: <<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/3d-printing-in-action-4177>>. Acessado: 5 nov. 2019.

VOLPATO, N. et al. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: E. Blucher, 2017.

\_\_\_\_\_. et al. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: E. Blucher, 2007.

YONGNIAN, Y. et al. Rapid prototyping and manufacturing technology: principle, representative technics, applications, and development trends. **Tsinghua Science and Technology**, Beijing, v. 14, n. 1, p. 6-7, jun. 2009.

ZHAI, Y.; LADOS, D. A.; LAGOY, J. L. Additive manufacturing: making imagination the major limitation. **JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society (JOM-US)**, Boston, v. 66, n. 5, p. 808-816, set. 2014.