

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

**IMPACTO DA EVOLUÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA SOBRE O
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2016

JULIANO DE SOUZA

**IMPACTO DA EVOLUÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA SOBRE O
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão do Desenvolvimento de Produto do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Márcio F. Catapan

CURITIBA

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, pela disponibilidade e atenção do Professor orientador Márcio Catapan, que junto aos professores do curso de Especialização em Gestão do Desenvolvimento de Produto da UTFPR expressaram entusiasmo e comprometimento em despertar em seus alunos a consciência da importância que a inovação tecnológica representa para o desenvolvimento do país. Aos colegas de turma pela boa convivência e cooperação durante as atividades em aula. Aos colegas de trabalho pela colaboração e incentivo durante o período de conclusão do curso. À pessoa a qual me foi inspiradora e que se anima com minhas conquistas. À minha mãe e familiares pelo apoio e compreensão pelo tempo empregado aos estudos.

“Por que razão o tempo actual é tão interessante? A razão é que a História ensina que é nestes períodos de crise de pensamento e de valores que se vão formando novos paradigmas. Um novo paradigma estará já, talvez, em gestação algures.” (AMARAL, João Ferreira do, 2003).

RESUMO

SOUZA, Juliano de. Impacto da evolução da Manufatura Aditiva sobre o desenvolvimento de produto. 2016. 71 f. Monografia (Gestão do Desenvolvimento de Produto) - Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Dada a produção acadêmica gerada no Brasil sobre a confecção de objetos utilizando a tecnologia de Manufatura Aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D não estar tão avançada quanto a de países líderes nesta tecnologia, o acesso à informações mais técnicas torna-se predominante à publicações estrangeiras, o que faz necessário uma pesquisa muito extensa para se compilar um histórico da evolução dessa tecnologia. A inovação da Manufatura Aditiva é um campo importante a ser estudado, principalmente pelas discussões sobre as possibilidades e vantagens que essa tecnologia trouxe ao atingir a maturidade estimada. Mas tirando exercícios de especulação, no mercado nacional, o que se tem notícia é sobre a relação das impressoras 3D de custo mais acessível com os benefícios da prototipagem e manufatura rápidas e os resultados interessantes que algumas empresas que adotaram essa inovação estão obtendo. Como proposta, esta pesquisa tem por objetivo compilar as informações acadêmicas e/ou científicas julgadas relevantes a respeito da evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva, desde suas origens até as recentes aplicações, dando ênfase a resultados registrados no campo de desenvolvimento de produto, de forma que possa servir de ponto de partida e referência para estudo e/ou aplicação em um eventual desenvolvimento de produto para o mercado nacional. Ao final da compilação das informações, a percepção obtida é de que a Manufatura Aditiva é uma das tecnologias que caminha para se estabelecer definitivamente e alterar o cotidiano dos consumidores. Para tanto, é possível verificar que não só as relações mercadológicas serão alteradas, mas também é viável afirmar que elas serão consequência direta das novas abordagens que a Manufatura Aditiva trás ao *design* quando aplicadas extensivamente ao Desenvolvimento de Produto.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Desenvolvimento de produto. Impressão 3D. Manufatura industrial. Tecnologia disruptiva. Inovação.

ABSTRACT

SOUZA, Juliano de. The impact of evolution of Additive Manufacturing on product development. 2016. 71 f. Monografia (Gestão do Desenvolvimento de Produto) - Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Given the Brazilian academic production about making objects using Additive Manufacturing technology, popularly known as 3D printing, isn't as advanced as leaders countries in that technology, the access to more technical informations becomes prevalent in foreign publications, which demand a very extensive research to compile a history of evolution of that technology. The Additive Manufacturing innovation is an important field to be studied, mainly because of discussions about the possibilities and advantages that technology brought to market. As a proposal, this research aims to compile academic information deemed relevant about the evolution of Additive Manufacturing technology, from its origins to the recent applications, emphasizing results registered on product development field, in a way to serve as starting point and reference for study and / or application in a possible product development for Brazilian market. At the end of compilation, the perception obtained is that the Additive Manufacturing is one of several technologies that goes to establish itself definitively and change the consumers' daily life. Therefore, it is possible to verify that not only the market relations will be changed, but it is also feasible to affirm that it will be a direct consequence of the new approaches that Additive Manufacturing brings to design, when applied extensively to Product Development.

Keywords: Additive Manufacturing. New product development. 3D printing. Industrial manufacturing. Disruptive technology. Innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cronologia das técnicas de Manufatura Aditiva	22
Figura 2 - Sistemas de estereolitografia.....	24
Figura 3 – Representação de um sistema típico de impressão 3D por FDM	25
Figura 4 – Detalhe da impressão 3D por Deposição de Material Fundido (FDM)	25
Figura 5 – Sistema de produção em impressão 3D baseada na tecnologia FDM.....	26
Figura 6 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por SLS e produto	27
Figura 7 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por 3DP e produto	28
Figura 8 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por MJ e produto	29
Figura 9 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por LENS™ e produto	30
Figura 10 – Representação de um sistema típico de impressão 3D por DMLS e produto	31
Figura 11 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por LOM e produto	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Roteiro de tópicos abordados na pesquisa.....	19
Gráfico 2 - Relação Custo x Unidade	42
Gráfico 3 - Intervalo economicamente viável entre a Manufatura Aditiva (AM) e a Manufatura Industrial (IM)	46
Gráfico 4 – Curva “Hype Cycle” de visibilidade e maturidade de tecnologias emergentes	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação de custos entre a Manufatura Aditiva (AM) e a Manufatura Industrial (IM)	46
Quadro 2 – Resumo das tecnologias 3D de Manufatura Aditiva e suas aplicações para o <i>design</i>	60

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões ou Tridimensional
3DP	<i>Three Dimensional Printing</i>
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AM/MA	<i>Additive Manufacturing / Manufatura Aditiva</i>
BYOD	<i>Bring Your Own Device</i>
CAD	<i>Computer-aided Design</i>
CAE	<i>Computer-aided Engineering</i>
Cepal	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CO2	Dióxido de Carbono
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
DFAM	<i>Design for Additive Manufacturing</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
EME	Escala Mínima de Eficiência
EUA	Estados Unidos da América
FEA	<i>Finite Element Analysis</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
GE	<i>General Electric Company</i>
HTML5	<i>HyperText Markup Language version 5</i>
IM	<i>Industrial Manufacturing</i>
LENS™	<i>Laser Engineered Net Shaping</i>
LOM	<i>Laminated Object Modeling</i>
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MJ	<i>Material Jetting</i>
NC	<i>Numeric Control</i>
NFC	<i>Near-Field Communication</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
OTA	<i>Over-The-Air technology</i>
PA	Poliamida
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
RMA	Rede de Manufatura Aditiva
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
SLA	<i>Stereo Lithography Apparatus</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

™ *Trademark*

\$ *Dollar sign*

€ *Euro sign*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo geral.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	17
1.3.1 Tipo de pesquisa.....	17
1.3.2 Coleta dos dados.....	18
1.3.3 Análise dos dados.....	19
2 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA.....	20
2.1 HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA	20
2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL	23
2.2.1 Stereo Lithography Apparatus (SLA) - Estereolitografia	23
2.2.2 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM) - Deposição por Material Fundido.....	24
2.2.3 <i>Selective Laser Sintering</i> (SLS) - Sinterização por Laser Seletivo.....	26
2.2.4 <i>Three Dimensional Printing</i> (3DP) - Impressão Tridimensional	27
2.2.5 <i>Material Jetting</i> (MJ) - Impressão por Jato de Material	28
2.2.6 <i>Laser Engineered Net Shaping</i> (LENS™) - Modelagem a Laser de Engenharia	29
2.2.7 <i>Direct Metal Laser Sintering</i> (DMLS) – Sinterização Direta de Metal por Laser...30	
2.2.8 <i>Laminated Object Modeling</i> (LOM) - Modelagem de Objeto por Laminação ..31	
3 APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA	32
3.1 MANUFATURA ADITIVA E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	32
3.2 QUESTÕES TÉCNICAS A EVOLUIR NA MANUFATURA ADITIVA	33
4 ECONOMIA E MERCADO	36
4.1 UMA NOVA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	36
4.2 MANUFATURA ADITIVA E O CAMINHO PARA A PERSONALIZAÇÃO EM MASSA.....	38
4.3 A INFLUÊNCIA NA ECONOMIA PERANTE A ADOÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA	41
4.3.1 A Manufatura Aditiva modifica as Relações de Mercado.....	41
4.3.1.1 Caminho I: Inércia.....	42

4.3.1.2 Caminho II: Evolução da Cadeia de Suprimentos	43
4.3.1.3 Caminho III: Evolução do Produto	43
4.3.1.4 Caminho IV: Evolução do Modelo de Negócio.....	44
4.3.2 Os Custos da Manufatura Aditiva em relação à Manufatura Industrial	44
4.3.3 A Manufatura Aditiva e o pensamento enxuto	47
4.4 A MANUFATURA ADITIVA NO BRASIL.....	48
4.4.1 O desenvolvimento da Manufatura Aditiva em um panorama global.....	48
4.4.2 O panorama brasileiro	49
4.4.3 Uma Rede de Manufatura Aditiva no Brasil	51
4.4.4 Projeto brasileiro de cooperação internacional para o desenvolvimento da Manufatura Aditiva	53
5 DISCUSSÃO	56
6 CONCLUSÃO.....	61
6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS.....	65
GLOSSÁRIO.....	68
APÊNDICE A – CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DA PESQUISA BASEADO NAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO.....	71

1 INTRODUÇÃO

Diante da produção acadêmica gerada no Brasil sobre a confecção de objetos utilizando a tecnologia de Manufatura Aditiva, popularmente conhecida como impressão 3D não estar tão avançada quanto a de países líderes nesta tecnologia, o acesso à informações mais técnicas torna-se predominante a publicações estrangeiras, o que faz necessário uma pesquisa muito extensa para se compilar um histórico da evolução dessa tecnologia.

A carência de uma fonte de acesso rápido e unificado ao histórico dessa inovação tecnológica pode estar influenciando na subutilização da mesma pelos desenvolvedores de produtos nacionais e dificultando os prognósticos de como a evolução da Manufatura Aditiva pode impactar sobre o desenvolvimento de produtos brasileiros.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a recente evolução das técnicas e equipamentos mais acessíveis, a tecnologia de Manufatura Aditiva tem despontado não só como uma promissora ferramenta de prototipagem rápida, mas como uma tecnologia habilitadora para uma manufatura personalizada.

No Brasil, a aplicação da Manufatura Aditiva é um campo importante a ser estudado, mas que ainda é pouco explorada por alguns nichos de mercado como empresas com centros de *design* / desenvolvimento e pela tímida colaboração entre estudantes e entusiastas, os quais têm buscado compreender e assimilar as capacidades dessa tecnologia, e as possibilidades de enquadrá-la como uma solução mais efetiva dentro da realidade do mercado nacional.

Pela aparente disparidade na velocidade com que vem se registrando a evolução dessa tecnologia no país e no exterior, a presente monografia propõe uma pesquisa bibliográfica sobre a evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva, não só pelo âmbito da aplicação atual, mas que também possa servir de base para estudos

do próximo passo da evolução dessa tecnologia, e além, dar embasamento para se estimar qual seria o impacto da aplicação desta tecnologia sobre os processos de desenvolvimento de produto, algo que poderia vir até mesmo a bater de frente com o grande paradigma da manufatura industrial convencional instalada no país.

1.2 OBJETIVOS

Para tratar deste assunto, os objetivos da presente monografia serão divididos em dois tópicos, os quais compreenderão os objetivos gerais e os específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo da pesquisa é compilar as informações acadêmicas relevantes a respeito da evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva até suas recentes aplicações, dando ênfase a registros que tenham relação com a área de Desenvolvimento de Produto.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atender os objetivos gerais deste trabalho, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar artigos científicos, dissertações e literatura produzidos durante a evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva, preferencialmente relacionados com aplicações em Desenvolvimento de Produto;
- Analisar os materiais encontrados que contenham dados que permitam uma comparação entre o que a evolução dessa tecnologia já contribuiu para a

Manufatura e o campo de Desenvolvimento de Produtos e o que pode contribuir para o desenvolvimento de produtos nacionais;

- Concluir sobre o desenvolvimento da Manufatura Aditiva e sua viabilidade de aplicação como método auxiliar ao desenvolvimento de produto.

1.3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este tópico discorre sobre o tipo de pesquisa adotado para a monografia e as técnicas aplicadas para a coleta e análise de dados. Nos itens abaixo são encontradas as descrições de como foi realizada a pesquisa, especificando suas etapas e também os procedimentos que foram adotados durante sua elaboração.

1.3.1 Tipo de pesquisa

Conforme os objetivos determinados, o intuito deste trabalho é obter como resultado um ponto de partida e referência para estudo e/ou aplicação da Manufatura Aditiva a quem desejar considerá-la como ferramenta integrante para o desenvolvimento de produto. Na forma de pesquisa exploratória, estima-se proporcionar familiaridade com as características das tecnologias de impressão 3D, expondo alguns dos pontos em que já se foi registrado o uso e a viabilidade da Manufatura Aditiva nos processos produtivos, com vistas a possibilitar construir hipóteses para sua aplicação a produtos que possam vir a ser concebidos sob esta tecnologia.

Para tanto, uma pesquisa bibliográfica foi efetuada a partir do levantamento de referências teóricas publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos e páginas de *web sites*. A pesquisa bibliográfica permite ao pesquisador incrementar o conhecimento sobre o que já se produziu sobre o assunto, e o seu desenvolvimento foi pautado nas seguintes etapas:

Etapa I: Delimitação do tema e formulação do problema;

Etapa II: Elaboração e entrega do Projeto de Pesquisa;

Etapa III: Levantamento do material de referência;

Etapa IV: Análise, ordenação e compilação dos dados que serão parte integrante da pesquisa;

Etapa V: Elaboração do trabalho escrito da pesquisa;

Etapa VI: Revisão e correção do trabalho escrito da pesquisa;

No apêndice “A” desta monografia é encontrado uma tabela com o cronograma de execução da pesquisa, relatando os períodos de tempo dispensados para as etapas de desenvolvimento citadas acima.

1.3.2 Coleta dos dados

O início da fase de coleta de dados da pesquisa se deu com a busca e avaliação da pertinência dos assuntos encontrados com teor relevante a respeito da evolução das tecnologias de impressão 3D e o avanço que isto proporcionou a Manufatura Aditiva, os quais puderam ser encontrados em portais de periódicos como capes.gov.br, sciencedirect.com, slideshare.net, researchgate.net *et al.*, além de uma busca por dissertações e livros que puderam complementar com uma base teórica o desenvolvimento sobre o tema.

O método de pesquisa por palavras-chave tais como Manufatura Aditiva, Desenvolvimento de produto, Impressão 3D, Tecnologia disruptiva, foi adotado e se mostrou efetivo em retornar vasto material, principalmente estrangeiro, a respeito dos vários desdobramentos que o tema da Manufatura Aditiva vem atingindo ao redor do mundo. Mas além disso, ao se realizar a pesquisa, um grande enfoque foi dado para se encontrar o que de nacional já foi produzido a respeito do tema, para que pudesse embasar eventuais conclusões em uma comparação da situação da Manufatura Aditiva brasileira em comparação a outros mercados que desenvolvem produtos utilizando essa tecnologia.

Foi durante a coleta de dados em periódicos, que fontes bibliográficas foram sendo descobertas e consultadas pelo autor, que ao final, executou um trabalho de eleição e catálogo das informações que seriam incorporadas ao trabalho de pesquisa. Isto foi seguido por uma etapa de ordenação e análise do material, para a construção do referencial teórico do trabalho escrito.

1.3.3 Análise dos dados

Com a conclusão da etapa de coleta do material bibliográfico, iniciou-se um processo de enquadramento das informações adquiridas em um roteiro de evolução sobre o tema do trabalho, o qual é visto no gráfico 4, além da idéia de posicionar os dados para que pudessem ser verificados quanto a correspondência à intenção da pesquisa, serviu como interligação para gerar uma fluidez entre os pontos característicos do assunto que foram considerados ser abordados nesta monografia. A análise qualitativa do conteúdo do material adquirido foi importante nesta fase da pesquisa e foi determinante para considerar quais as informações tiveram a relevância desejada para compor a estrutura do trabalho.

Tendo finalizada a etapa de análise e ordenação dos dados elencados, foi iniciada a construção do trabalho escrito, tendo como premissa redigi-lo de forma a expressar os dados de forma seqüencial, para evidenciar suas principais informações, permitir a discussão sobre os mesmos e finalizar com uma conclusão sobre o resultado adquirido com a pesquisa.



Gráfico 1 - Roteiro de tópicos abordados na pesquisa
Fonte: Do autor.

2 TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA

Neste capítulo é apresentado um resumo das principais informações técnicas adquiridas de uma compilação literária sobre a tecnologia de Manufatura Aditiva, relatando do seu histórico até as características dos principais sistemas de impressão já desenvolvidos.

2.1 HISTÓRICO E CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA

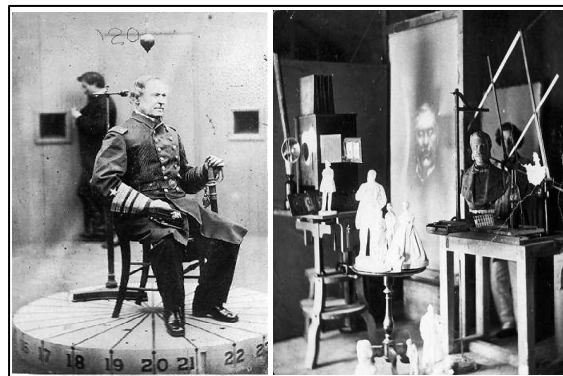
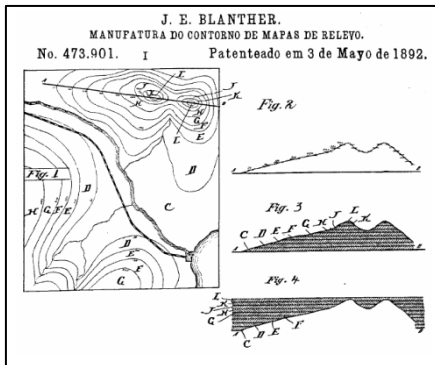
A tecnologia empregada na Manufatura Aditiva é baseada em dois conceitos presentes na maioria das impressoras 3D atuais, um dos quais se vale de uma representação de um modelo virtual e o outro da fabricação de objetos através da deposição de camadas até que se obtenha a geometria completa da peça.

Desde o século XIX, diversas patentes foram depositadas durante o desenvolvimento da impressão tridimensional e ao longo das últimas três décadas é percebido um acentuado desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia (MONTEIRO, 2015).

Dos campos de estudo da topografia e da foto-escultura é baseada a origem dos conceitos da impressão 3, que seguiram desenvolvimentos paralelos até o momento em que as patentes começaram a abordar os conceitos de ambos os estudos. Dessa união de conceitos culminou com o depósito da patente de Charles Hull, que originou o primeiro sistema comercial de impressão 3D do mercado (BOURELL, et al., 2009).

Das variadas técnicas propostas, desde as que aplicam os conceitos da topografia e da fotoescultura onde Wyn Kelly Swainson (1971) propõe a fabricação direta de uma peça através da catalisação seletiva de um polímero na interseção de dois feixes de laser (BOURELL, et al., 2009), passando pela técnica de Pierre Alfred Ciraud (1972) em que um sistema que se utiliza de um determinado material em pó, que é fundido através da exposição a feixes de laser ou plasma em uma plataforma que se abaixa (VOLPATO, 2007), até a popular técnica de Scott Crump (1989) onde

em seu aparato, o material em forma de filamento é fundido em um bico extrusor e depositado sobre uma plataforma que se movimenta em suas coordenadas X e Y, é verificado que as camadas construtivas são o princípio básico da impressão em 3 Dimensões, pois ela consiste na fabricação de uma peça de um determinado material em camadas sobrepostas repetidas vezes até que se tenha a peça completa, e este é o conceito principal que tem caracterizado o termo Manufatura Aditiva (TAKAGAKI, 2012). A Figura 1 apresenta a cronologia da evolução das técnicas de Manufatura Aditiva até o ano de 2001.

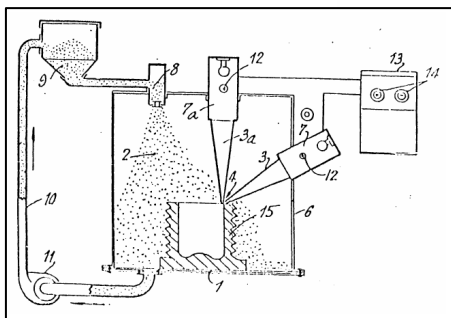


TOPOGRAFIA

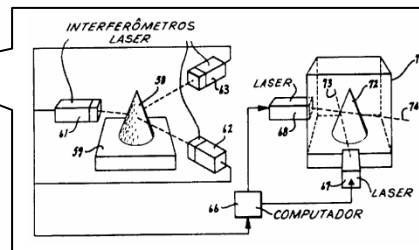
- Patente de Blather 1890
- Patente de Perera 1937
- Patente de Zang 1962
- Patente de Gaskin 1971
- Patente de Matsubara 1972
- Patente de DiMatteo 1974
- Ferramenta de fabricação por laminação de Nakagawa 1979

FOTOESCULTURA

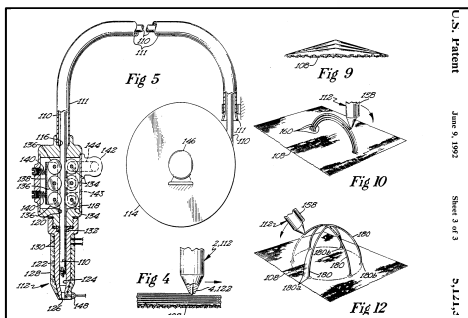
- 1860 Fotoescultura de Willeme
- 1902 Patente de Baese
- 1922 Patente de Monteah
- 1933 Patente de Morioka
- 1940 Patente de Morioka
- 1951 Patente de Munz



- 1968 Patente de Swainson
- 1972 Patente de Ciraud
- 1979 Patente de Housholder
- 1981 Patente de Kodama
- 1982 Patente de Herbert
- 1984 Patente de Maruntani
- Patente de Masters
- Patente de Andre
- Patente de Hull



- 1985 Fundada a Helysis
- Iniciada a Denken venture
- 1986 Patente de Pomerantz
- Patente de Feygin
- Patente de Deckard
- Fundada a 3D
- Iniciada a Light Sculpting



- 1987 Patente de Fudim
- Patente de Arcella
- Fundada a Cubital
- Fundada a DTM
- Iniciada a Dupont
- Somos venture
- 1988 Primeira venda da 3D
- Fundada a CMET
- Fundada a Stratasys
- 1989 Patente de Crump
- Patente de Helsinki
- Patente de Marcus
- Patente de Sachs
- Fundada a EOS
- Fundada a BPM Tech.
- 1990 Patente de Levant
- Fundada a Quadraz
- Fundada a DMEC
- 1991 Iniciada a Teijin Seiki venture
- Fundada a Foeckele & Schwartze
- Fundada a Soligen
- Fundada a Meiko
- Iniciada a Mitsui venture
- 1992 Patente de Penn
- Quadraz é adquirida pela 3D
- Iniciada a Kira venture
- Fundada a Laser 3D
- Primeira venda da DTM
- 1994 Iniciada a Sanders Prototyping
- 1995 Iniciada a Aaroflex venture
- 1997 Formada a AeroMet
- Reiniciada a Optomec
- Iniciada a Zcorp
- 1998 Fundada a Objet
- Patente de Keicher
- 1999 Fundada a POM
- Encerrada a BPM
- 2000 Encerrada a Helisys
- Iniciada a Solidica
- 2001 União da 3D e DTM

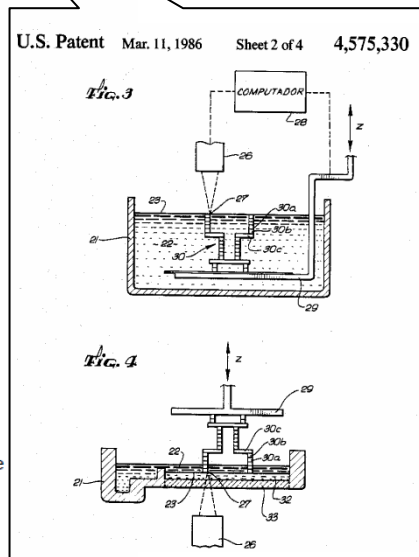


Figura 1 – Cronologia das técnicas de Manufatura Aditiva
 Fonte: Adaptado de Bourell, et al. (2009, p. 2).

2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL

Variadas técnicas e sistemas de impressão tridimensionais foram sendo criados e evoluídos, porém, somente alguns destes, se apresentaram viáveis o suficiente para atender os requisitos para uma nova estratégia de manufatura. Esses sistemas melhor adaptados foram os que se consolidaram como as tecnologias que hoje estão na linha de frente da aplicação da Manufatura Aditiva nos mercados do globo. A seguir, são relatados os sistemas de impressão 3D que se tornaram mais evidentes atualmente, principalmente pela ótica da característica mencionada acima.

2.2.1 Stereo Lithography Apparatus (SLA) - Estereolitografia

Neste sistema, um feixe de laser passa sobre a superfície de um foto-polímero líquido que é sensível à luz ultravioleta e endurece quando exposto a ela. O feixe de laser percorre um caminho determinado entre as coordenadas de orientação espacial X e Y e endurece o foto-polímero líquido. Após terminar uma camada, uma plataforma que suporta a peça desce alguns décimos de milímetro para que o líquido do tanque cubra toda superfície recém criada. Então o processo recomeça camada a camada até a finalização da peça. (MONTEIRO,2015).

A figura 2 demonstra os sistemas de estereografia idealizados por Kodama (1981), onde em (a) a plataforma desce pelo tanque de foto-polímero líquido em relação ao emissor de raios ultra-violeta, e em (b) o emissor é posicionado embaixo do tanque, com a plataforma subindo em relação ao mesmo. Em (c) é descrito o mecanismo que move o emissor de raios ultravioleta pela área da plataforma.

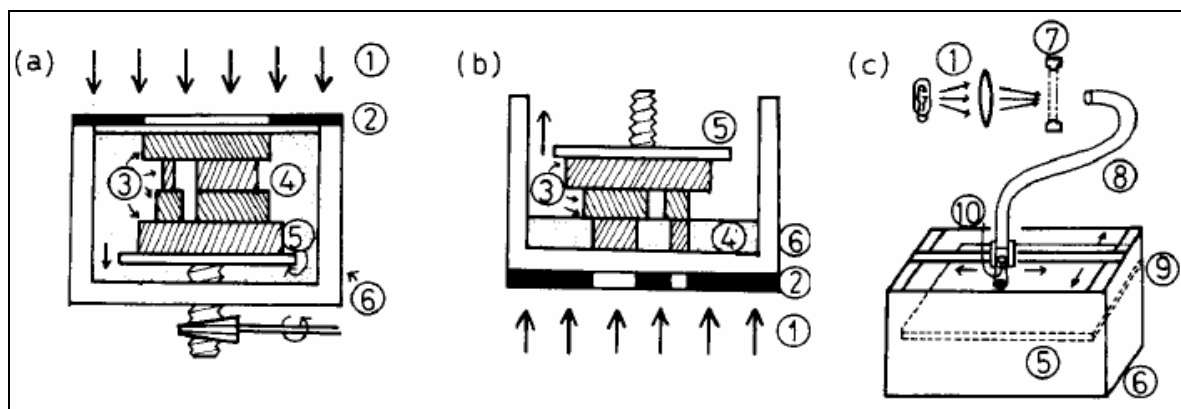


Figura 2 - Sistemas de estereolitografia
 Fonte: Kodama (1981, p. 1771).

A SLA foi a primeira tecnologia de impressão 3D aplicada aos processos de Manufatura Aditiva BUENO(2012), e com a recente popularização das tecnologias de Manufatura Aditiva, tem se desenvolvido significativamente nas inúmeras iniciativas de desenvolvimento colaborativo, conhecido também como *open source*, o qual tem permitido o aprimoramento dos dispositivos e de várias técnicas de impressão 3D e contribuído para que possam ser mais acessíveis, como é o caso da impressora SLA denominada fabricante pessoal de baixo custo da FABtotum(2016).

2.2.2 Fused Deposition Modeling (FDM) - Deposição por Material Fundido

Processo em que um determinado material fundido a calor é seletivamente depositado em uma plataforma por um bico extrusor. O material é depositado em todo o contorno e preenchimento da seção pelo bico que é movimentado pelas coordenadas de orientação espaciais “x-y”, geralmente em movimentos de vai e vem. Depois que a primeira camada é terminada, a plataforma desce e inicia a deposição da próxima camada, e assim segue até que a peça esteja completa, conforme exemplos das figuras 3 e 4.(MONTEIRO,2015).

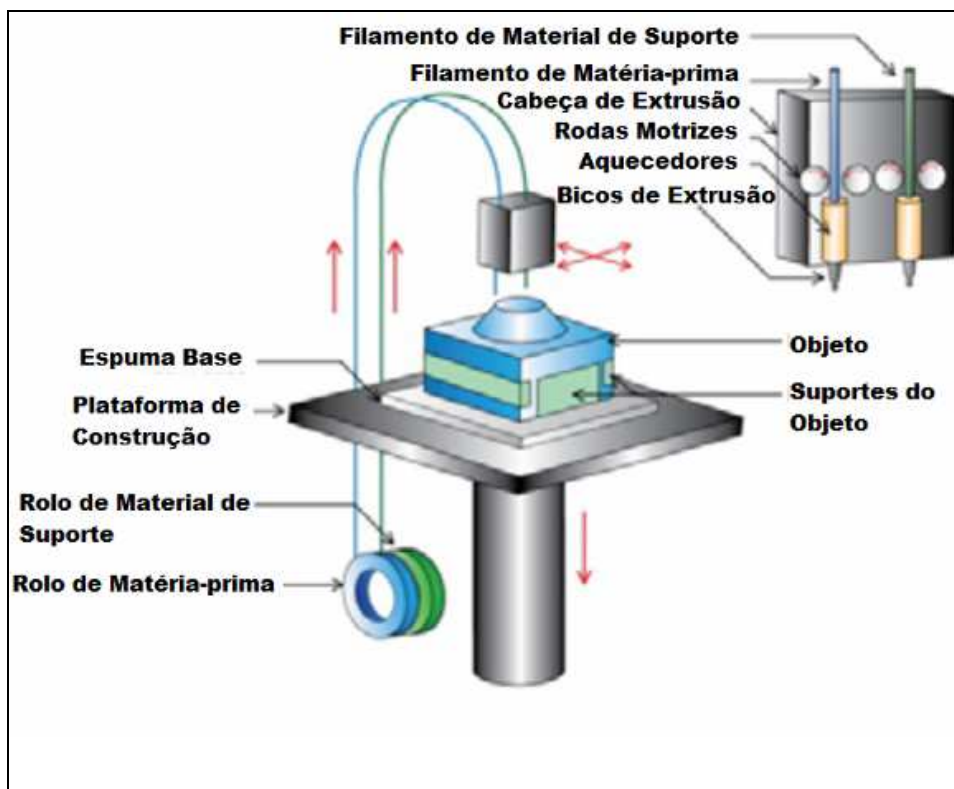


Figura 3 – Representação de um sistema típico de impressão 3D por FDM
 Fonte: Adaptado de Shipp et al. (2012, p.38).

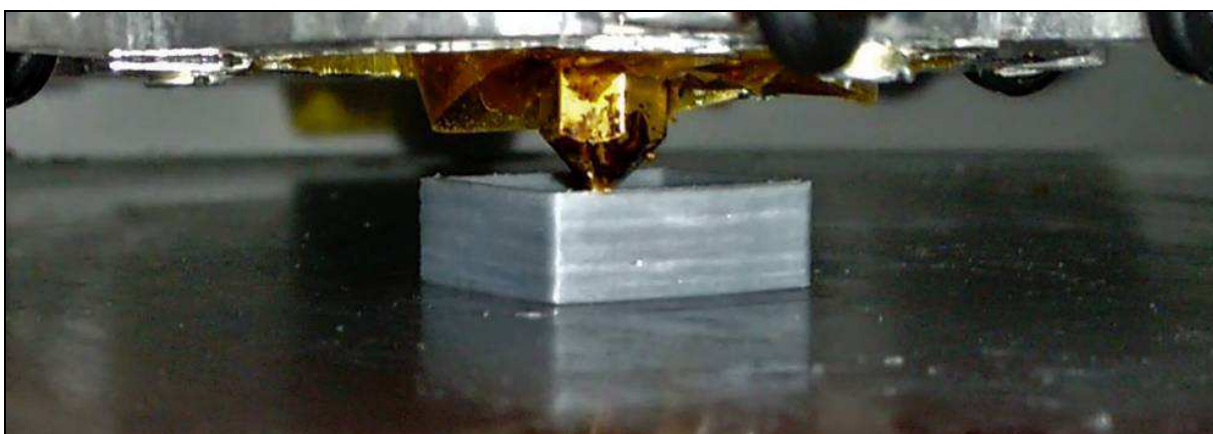


Figura 4 – Detalhe da impressão 3D por Deposição de Material Fundido (FDM)
 Fonte: Do autor.

Esta é a tecnologia mais popular encontrada no mercado atualmente, e com os menores custos devido à sua simplicidade de funcionamento e componentes e insumos relativamente acessíveis, tornam viáveis até mesmo pequenas escalas de produção industrial. Por outro lado, também é possível verificar soluções bastante sofisticadas para atender essa demanda, conforme ilustrado na figura 5. Também é

uma das tecnologias mais flexíveis quando se trata de diversidade de matéria-prima, uma ampla gama de materiais passíveis de serem fundidos e que possam ser comprimido por um bico para ser extrusado podem ser utilizados. O mais comum são filamentos de termoplásticos, como o ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e alguns tipos de elastômeros. Tendo estas características como principais, sua popularização vem abrindo muitas possibilidades, graças a iniciativas de desenvolvimento *open source*, com maior destaque para a utilização doméstica, uma das aplicações que se estima irá criar uma ruptura na cadeia produtiva de vários segmentos de mercado.(MONTEIRO,2015;RAYNA e STRYUKOVA,2016).



Figura 5 – Sistema de produção em impressão 3D baseada na tecnologia FDM
Fonte: Adaptado de Javelin (2016), Stratasys (2016).

2.2.3 *Selective Laser Sintering* (SLS) - Sinterização por Laser Seletivo

Tecnologia que direciona um feixe de laser de alta potência sobre uma superfície depositada com um pó, que é sinterizado formando uma camada sólida. Após a confecção de uma camada, um rolo nivelador deposita uma nova camada de pó e assim sucessivamente até que a peça esteja terminada. O material não atingido pelo feixe de laser se mantém no estado original e auxilia a suportar a peça durante o processo, e após o término, é varrido da peça e pode ser reciclado para futuras impressões, conforme pode ser visto na figura 6. (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO,2015; TAKAGAKI, 2012).

Muitas das máquinas SLS para metais ainda não são adequadas para o uso doméstico, pois precisam de uma câmara selada e preenchida com nitrogênio para que o oxigênio não reaja na fusão do material, o que especializa o processo. (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO,2015).

Outro ponto é ser um processo quente: na fabricação de peças grandes pode ser necessário esperar até um dia para que a peça se resfrie e possa ser retirada do seu interior, bem como o agravante de alguns materiais oferecerem o risco de explodir se trabalhados incorretamente (MONTEIRO,2015).

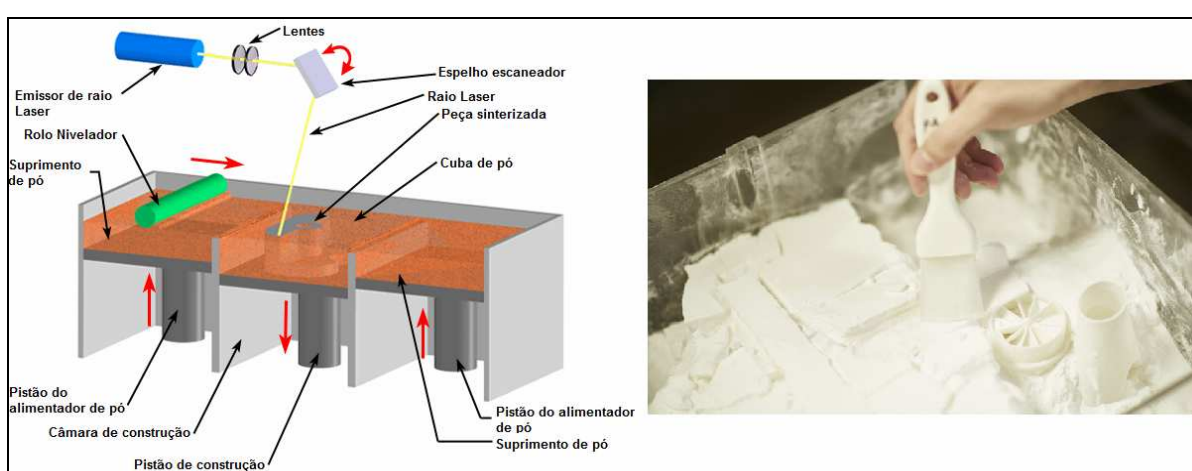


Figura 6 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por SLS e produto
Fonte: Adaptado de Custompartnet (2016), Stratasys (2016).

2.2.4 Three Dimensional Printing (3DP) - Impressão Tridimensional

É um tipo de tecnologia onde cabeças de impressão liberam jatos de um tipo de adesivo sobre uma camada de material em pó sobre uma plataforma. Após o término da colagem de uma camada, a plataforma desce alguns décimos de milímetro e o sistema espalha mais pó para que seja novamente colado e assim sucessivamente até a finalização da peça, como mostra a representação da figura 7. (MONTEIRO,2015).

Diversos materiais em pó podem ser usados, desde alguns tipos amido, que deixam a superfície com aparência de areia, até outros como argila que dão um acabamento mais fino. Porém, dependendo do material, após a impressão é necessário sinterizar a peça em um forno para que endureça e ganhe maior

resistência mecânica. Já foram utilizados também materiais como pó de vidro, pó de borracha, serragem e até pós metálicos. (MONTEIRO,2015).

Uma vantagem dessa tecnologia é sua simplicidade no processo, pois não usa lasers ou outros componentes que requerem alta demanda de energia. Com ela também é possível imprimir em cores, pois gotículas de tinta podem ser adicionadas durante o processo. (MONTEIRO,2015).

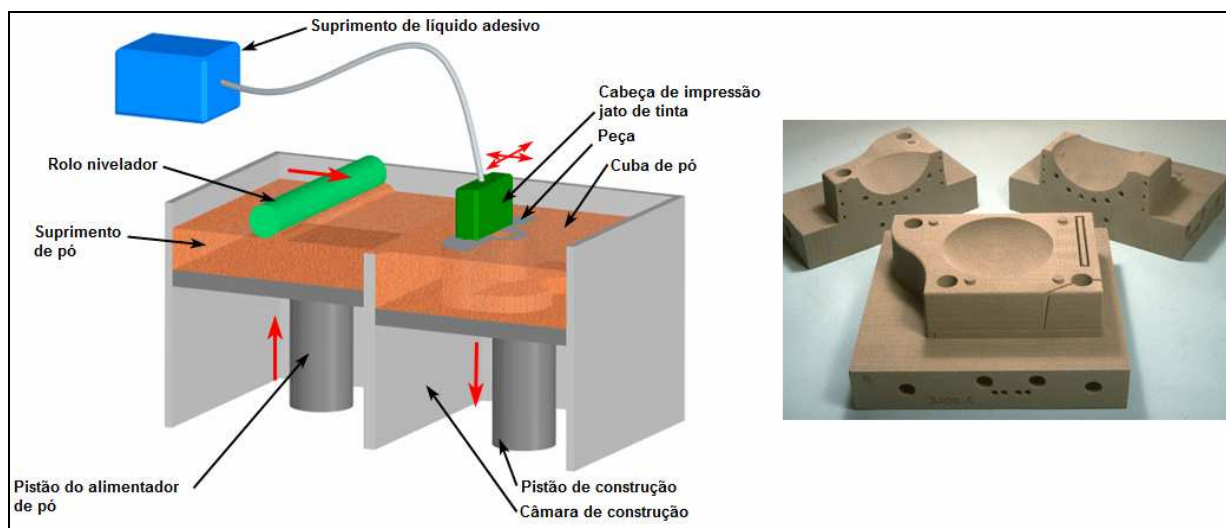


Figura 7 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por 3DP e produto
 Fonte: Adaptado de Custompartnet (2016), MIT (1999).

2.2.5 Material Jetting (MJ) - Impressão por Jato de Material

Uma das mais novas tecnologias de impressão em 3D, foi criada em 2000 e combina uma cabeça de impressão que libera jatos de um monômero líquido em camadas muito finas, curando-as com luz ultravioleta. Esta tecnologia proporciona camadas de 16 microns de espessura. Este tipo de impressora pode também utilizar várias cabeças de impressão para misturar diferentes materiais em uma única peça, porém é limitada justamente na variedade de materiais compatíveis. Para serem aplicáveis, esses materiais precisam ser foto-polímeros sensíveis à luz ultravioleta, um tipo de plástico especializado e assim muito caro e, no entanto, relativamente frágil e limitador do leque de aplicações possíveis. Na figura 8 é possível verificar o resultado de uma peça impressa no sistema MJ utilizando material de composição cerâmica. (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO,2015).

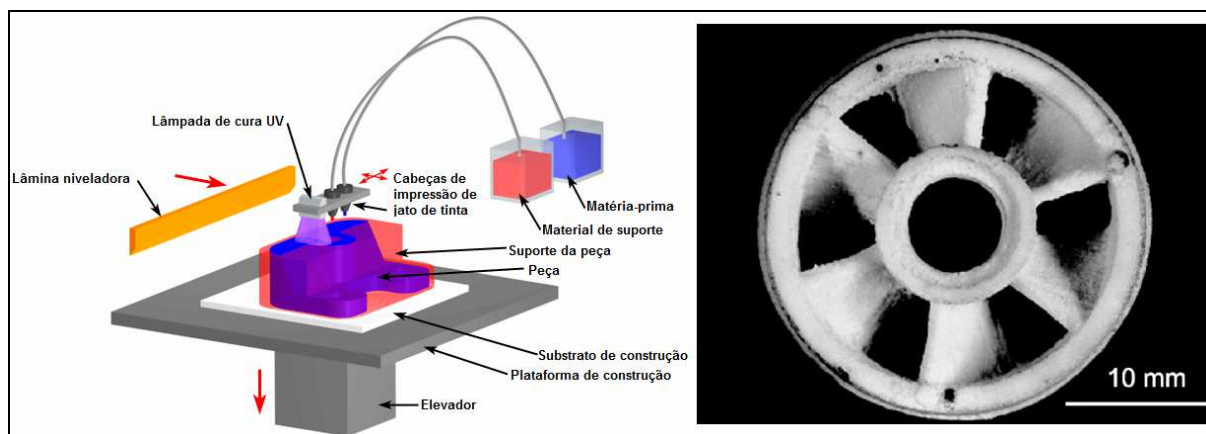


Figura 8 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por MJ e produto
 Fonte: Adaptado de Custompartnet (2016), Derby (2015, p. 113).

2.2.6 Laser Engineered Net Shaping (LENS™) - Modelagem a Laser de Engenharia

Este sistema funciona disparando jatos de material em pó em um feixe de laser de alta potência direcionado, algumas partículas do pó não atingem o laser e caem ao redor, porém, as que atingem são instantaneamente fundidas à superfície da peça. Assim, enquanto o ponto focal do laser segue o contorno da peça em construção e o bico libera os jatos de pó, a peça vai materializando gradualmente, camada por camada. Uma característica peculiar do processo LENS™ é que as camadas não são depositadas necessariamente em planos horizontais como na maioria dos processos de Manufatura Aditiva. Como o bico injetor de pó trabalha com deslocamento nos três eixos espaciais, ele pode depositar material não apenas nos eixos X e Y, mas também no eixo Z e seguir por diversas coordenadas no espaço tridimensional. A representação desse sistema e uma amostra do processo são apresentados na figura 9 (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO, 2015).

A vantagem deste processo é poder utilizar matérias-primas muito resistentes, como titânio, e aço inoxidável. Até que os processos com metal fossem inventados, as grandes indústrias não levaram muito a sério a impressão 3D, por trabalhar apenas com polímeros, porém quando este tipo de impressão foi validado, indústrias como a aeroespacial e automotiva prontamente se interessaram em obtê-lo. A tecnologia LENS™ hoje é utilizada para fabricar peças em metais duros, como

hélices de turbinas, canais de refrigeração internos, dentre outros (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO,2015).

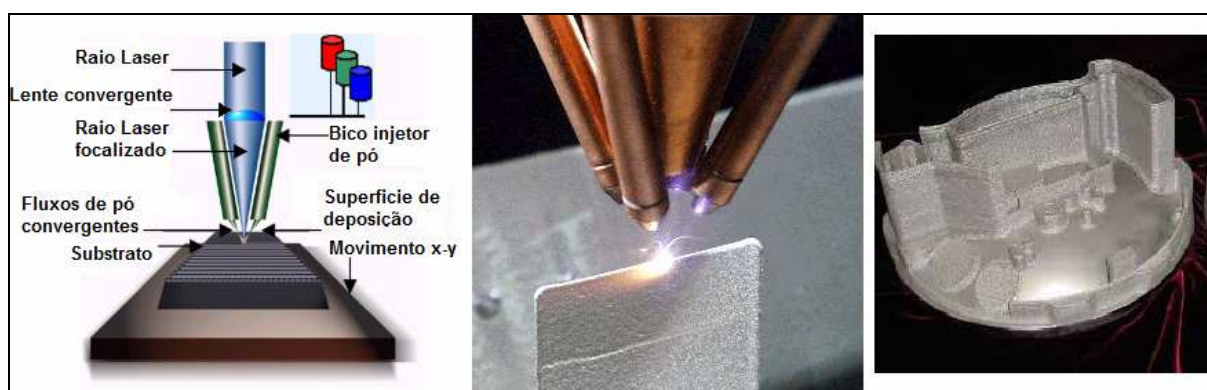


Figura 9 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por LENS™ e produto
 Fonte: Adaptado de Grylls (2006), Hofmeister (1999), Mudge e Wald (2007, p. 44).

2.2.7 Direct Metal Laser Sintering (DMLS) – Sinterização Direta de Metal por Laser

O processo Direct Metal Laser Sintering (DMLS) consiste na obtenção de modelos físicos, decorrente da sinterização de ligas metálicas em pó, camada a camada, a partir da ação de um raio laser de CO₂. DMLS já dispõem de uma gama variada de matérias-primas compatíveis para serem empregadas, desde ligas de aço inox, ligas de níquel, ligas de alumínio e até titânio puro. A maior aplicação desta tecnologia é observada na fabricação de peças de alta complexidade pela indústria aeroespacial. De acordo com a Figura 10, uma plataforma de alimentação desloca-se verticalmente para cima, e um espalhador distribui um pó metálico sobre a plataforma de construção, gerando uma camada de espessura uniforme (SILVA, et al., 2013).

Na seqüência, o raio laser de CO₂ varre a área sobre a plataforma de construção, de acordo com a geometria da camada, promovendo a aderência do pó metálico sobre uma placa de aço utilizada como plataforma de construção para a primeira camada. Por fim, a plataforma desloca-se verticalmente para baixo, para que uma nova camada de pó seja depositada e desenhada pelo laser. Este processo é repetido até que se obtenha a peça sólida inteira, que é retirada através do corte da placa de aço. Durante todo o processo, a câmara na qual ocorre a fabricação do sólido é mantida em uma atmosfera inerte em Argônio (SILVA, et al., 2013).

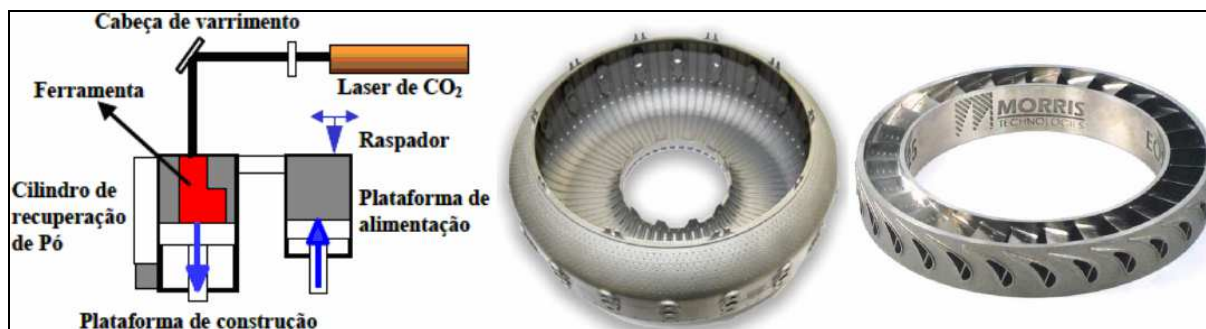


Figura 10 – Representação de um sistema típico de impressão 3D por DMLS e produto
Fonte: Adaptado de SILVA, et al.(2013).

2.2.8 Laminated Object Modeling (LOM) - Modelagem de Objeto por Laminação

Impressoras LOM não utilizam uma cabeça de impressão na construção das camadas, mas convertem finas lâminas de um material, que pode ser plástico, papel ou metal, em objetos tridimensionais físicos. Uma faca ou feixe de laser corta essas lâminas seguindo o contorno de cada camada da geometria. Depois de finalizado o corte da seção, uma fina folha de adesivo é aplicada sobre a camada já terminada, partindo para o recorte da camada seguinte. Depois que todas as camadas forem cortadas, a impressora as comprime em um objeto sólido. Algumas dessas máquinas que trabalham com lâminas de alumínio, usam frequências de ultrassom para fundí-las, compactando as camadas e tornando o objeto resistente estruturalmente, conforme observado na figura 11 (LIPSON e KURMAN, 2013; MONTEIRO,2015).

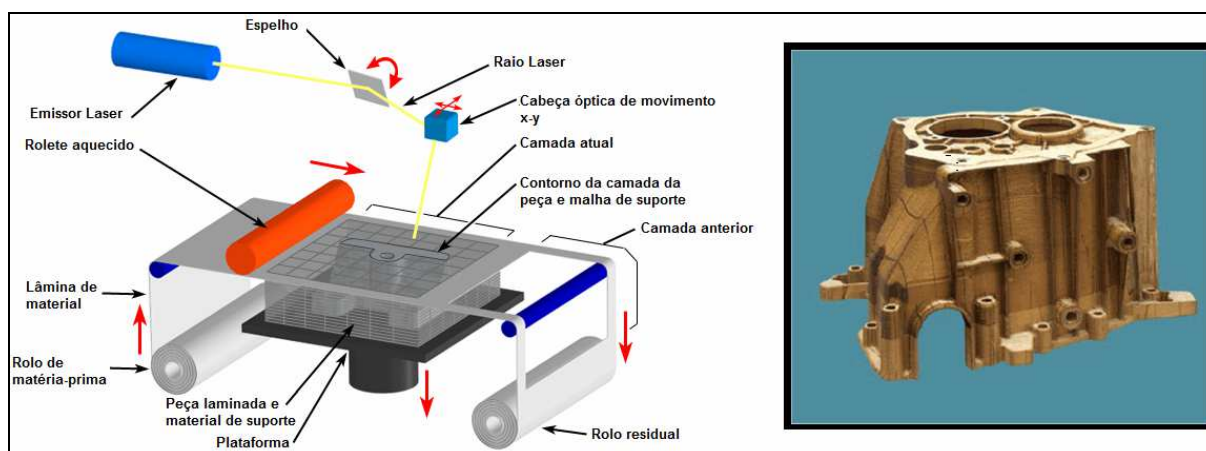


Figura 11 - Representação de um sistema típico de impressão 3D por LOM e produto
Fonte: Adaptado de Custompartnet (2016), Inngo (2016).

3 APLICAÇÕES DA MANUFATURA ADITIVA

No presente capítulo é apresentado a aplicação que vem sendo dada às técnicas de Manufatura Aditiva e suas implicações relativas ao campo do Desenvolvimento de Produto. O capítulo aborda também os pontos em que ainda carece de melhorias, se comparada à manufatura convencional.

Originalmente, a Manufatura Aditiva amadureceu como tecnologia de apoio ao processo de desenvolvimento de produtos, em que existem fases nas quais é necessário materializar um conceito para que sejam feitos testes e verificações, e foi onde diversas tecnologias de Manufatura Aditiva surgiram para atender demandas dos diversos estágios de desenvolvimento de produtos. No entanto, as exigências de flexibilidade de materialização tornaram os equipamentos ideais para atender às demandas de uma manufatura avançada, na qual alto grau de personalização é requerido pelas soluções mais eficientes, capazes de atender a um vasto leque de exigências de mercados consumidores especializados. Recentes avanços na tecnologia de Manufatura Aditiva têm trazido produtos para esta realidade de aplicação. A Manufatura Aditiva apresenta uma evolução em relação à manufatura convencional, e apesar de necessitar adequar quesitos muito relevantes antes de ser aplicada como ferramenta para a transformação das relações de manufatura, é apontada por pesquisadores como a portadora das vantagens e soluções que os fabricantes têm buscado para atender a demanda por produtos personalizados (CGEE,2013; MONTEIRO,2015).

3.1 MANUFATURA ADITIVA E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

No campo do *design*, a tecnologia de Manufatura Aditiva foi aplicada primeiramente com a função de confeccionar modelos e protótipos, devido ao ganho de tempo de construção em relação aos tradicionalmente feitos à mão. Apesar dos ganhos observados com a utilização da tecnologia de Manufatura Aditiva, inicialmente ela havia causado mudanças significativas no processo de desenvolvimento de produtos e apenas havia incrementado melhorias que

potencializaram as etapas de construção e análises de modelos. Contudo, recentemente a Manufatura Aditiva vem impactando o desenvolvimento de produto de forma mais direta, pois ao ser empregada como ferramenta de fabricação, passa a ser o veículo pelo qual se projeta e se produz, aproximando assim essas duas extremidades dos processos produtivos.(DIMITROV, SCHREVE e DE BEER, 2006; MONTEIRO, 2015).

Os recentes aprimoramentos das técnicas de impressão 3D têm destacado muitas das suas vantagens se comparadas com as técnicas tradicionais de fabricação. Estudiosos têm as descrito como sendo revolucionárias no desenvolvimento de produtos e agora, no campo da manufatura, alguns deles já afirmam que essa tecnologia teria um profundo potencial disruptivo sobre os atuais modelos de negócio que vivenciamos. *Direct Manufacturing* (Manufatura Direta) pode ser apontado como o próximo estágio de evolução na utilização da tecnologia de Manufatura Aditiva, capaz de reconfigurar o processo de produção de bens e sua comercialização da forma como conhecemos hoje. (MONTEIRO,2015;RAYNA e STRYUKOVA,2016).

3.2 QUESTÕES TÉCNICAS A EVOLUIR NA MANUFATURA ADITIVA

Quando comparada com a manufatura convencional, a Manufatura Aditiva destaca importantes inovações, capazes de contornar certas restrições intrínsecas a processos as quais os desenvolvedores de produto são obrigados a respeitar em suas concepções, de forma a torná-las manufaturáveis. Devido à possibilidade teórica de fabricar qualquer geometria e também de combinar materiais, é possível integrar funções e reduzir o número de componentes de um produto, como encaixes, fixações e processos de montagem, enxugando sensivelmente a fabricação do produto. Porém, a Manufatura Aditiva ainda carece de alguma evolução em muitas de suas técnicas, até que se torne uma solução madura o suficiente para sobrepor algumas das tradicionais técnicas de manufatura. Comparando-a com a moldagem por injeção de termoplásticos ou a usinagem de metais, em geral os métodos aditivos ainda apresentam acabamento superficial inferior, amplas variações dimensionais e dependendo da tecnologia de impressão, maiores restrições com

relação ao tamanho das peças e produtos que podem ser fabricados em uma única etapa. Para peças que requerem um acabamento superficial de alto padrão e tolerâncias dimensionais mais rigorosas, é necessário realizar operações secundárias de acabamento na fabricação, como usinagem e/ou polimento e pintura. Por outro lado, comparando os processos de sinterização direta ou de fusão de metais, como SLS ou LENSTM por exemplo, com o processo tradicional de fundição, essas novas tecnologias tendem a apresentar resultados similares ou até superiores nessas características. Nas aplicações de MA que trabalham com materiais poliméricos, a maioria emprega os termoplásticos, e mesmo nos processos de Manufatura Aditiva em que se utilizam materiais como PA no processo SLS, ou ABS no processo FDM, as propriedades mecânicas das peças fabricadas normalmente são inferiores às daquelas fabricadas através de moldagem por injeção. Já no caso dos metais, quando se compara materiais com composições similares, as propriedades das peças fabricadas através de tecnologias como DMLS ou LENSTM, por exemplo, são muito próximas às obtidas nos processos tradicionais (BUENO,2012).

Uma importante característica a se considerar nos processos de Manufatura Aditiva são os efeitos da anisotropia, a qual é pré-determinante para qual material empregar e principalmente, no estudo técnico de qual a orientação que a peça deverá ser posicionada no equipamento, para que seja fabricada de forma a não se tornar sucessível a falhas prematuras e indesejadas. Também dependendo do tipo de tecnologia utilizada, uma peça com geometrias complexas pode requerer a geração de estruturas de suporte, que precisam ser removidas posteriormente, o que prejudica o acabamento superficial da mesma. As estruturas de suporte também afetam negativamente o ciclo de fabricação e o custo do produto final, uma vez que demandam uma operação secundária de fabricação para que o produto seja finalizado. Com relação às matérias-primas, apesar de todos os avanços ocorridos recentemente, as opções para os atuais sistemas de MA ainda são bastante limitadas se comparadas às disponíveis para os processos tradicionais de fabricação, o que restringe muito a liberdade de escolha dos desenvolvedores na seleção de materiais para um novo produto. A disponibilidade de dados técnicos dos materiais para Manufatura Aditiva também é uma questão, pois é limitada pelos fornecedores, e muitas vezes, não explicitam as condições em que foram obtidos ou ao menos fornecem dados suficientes para avaliações de comportamento mecânico,

como por exemplo a Análise por Elementos Finitos (FEA), o que acaba requerendo o contato direto com fabricantes específicos ou até mesmo a *expertise* de Engenheiro de Materiais (BUENO,2012).

Por fim, além das limitações ainda inerentes aos processos aditivos, as tecnologias de CAD/CAE e de Engenharia Reversa, essenciais para o desenvolvimento de produtos sob medida, também possuem deficiências que impactam no tempo de lançamento de novos produtos. Os sistemas comerciais de CAD/CAE disponíveis atualmente ainda não oferecem toda a flexibilidade necessária para a rápida criação de geometrias de alta complexidade e para a geração de modelos para simulação/fabricação de componentes com gradientes funcionais. Já as tecnologias de Engenharia Reversa, como por exemplo o escaneamento digital, ainda requerem muito trabalho manual para conversão dos dados capturados em um modelo CAD de qualidade (BEAL,2005; BUENO,2012).

4 ECONOMIA E MERCADO

Nas subseções também é apresentado uma vista da aplicação da Manufatura Aditiva sob os âmbitos mercadológico e econômico e finaliza com um apanhado sobre o panorama da Manufatura Aditiva no Brasil. Aqui são relatadas algumas das expectativas iniciais da Manufatura Aditiva e os fatos que aos poucos estão derrubando hipóteses muitas vezes pessimistas que sempre são criadas em torno de um rearranjo do modelo convencional de manufatura. Cada vez mais a Manufatura Aditiva vem sendo percebida como um agente modificador das relações de mercado e está se tornando capaz de servir de base para um novo conceito de desenvolvimento de produtos orientado para a Personalização em Massa.

4.1 UMA NOVA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Não é de hoje que ondas de novas idéias e tecnologias têm aguçado as expectativas e as previsões do mercado, de que estaríamos por presenciar o começo de uma nova era nas habituais relações de consumo, que foram se estabelecendo após o advento da Revolução Industrial. A evolução da informática vem a décadas proporcionando um ambiente de manufatura cada vez otimizado, e tecnologias providas dessa evolução como a Manufatura Aditiva tem sido vistas como os prováveis agentes de uma Nova Revolução Industrial, que teria a capacidade disruptiva de tornar obsoletos modelos de negócios há muito estabelecidos. A transformação do modelo de manufatura se acelera graças à convergência de tendências tecnológicas: o baixo custo e acessibilidade do chamado *Big Data* - grandes volumes de dados processados a altas velocidades associados à computação em nuvem; a queda dos custos de sensores eletrônicos, microprocessadores e outros componentes usados para criar máquinas mais capazes; avanços em desenvolvimento de *softwares* e tecnologia de comunicação (KOTEN,2013).

Para as grandes companhias, o desenvolvimento da Manufatura Aditiva significa usufruir de uma gama de novas ferramentas para montar fábricas mais

enxutas e explorar novos produtos, materiais e técnicas inovadoras. E pequenas empresas também têm tido acesso a equipamentos e ferramentas melhores e mais baratos. Segundo Michael Idelchik, diretor de tecnologias avançadas do laboratório mundial de pesquisa da *GE* citado por KOTEN (2013), a manufatura passa por uma mudança que é tão significativa quanto foi à época a introdução de partes intercambiáveis separadas que são unidas na linha de montagem. Outra tendência observada com a aplicação da tecnologia de Manufatura Aditiva é a repatriação dos processos de manufatura, que eram delegados pelas economias desenvolvedoras de tecnologia aos países de baixo custo de industrialização. Como por exemplo, os Estados Unidos, que estão se tornando rapidamente o lugar de custo de produção total de bens duráveis de alta tecnologia mais barato do planeta, graças à inovação criada no país pelo estudo e aplicação de novos materiais e ao foco em adotar a Manufatura Aditiva como meio de produção que visa ao aumento de produtividade, barateia o custo total da manufatura e torna possível produzir bens de uma maneira econômica que não era possível há alguns anos atrás. Para se ter idéia desta repatriação, em 2013, a consultoria *Boston Consulting Group* previu que até 30% das exportações americanas produzidas na China poderiam ter a produção transferida para os EUA até 2020 (KOTEN,2013; WINTERSTEIN, 2014).

Uma das hipóteses criadas com a evolução da Manufatura Aditiva é de que ela acabaria por criar uma situação de desemprego, da mesma forma como foi especulado ao início da aplicação da Automação Industrial. Esse mesmo mito, que se mostrou equivocado, foi criado no advento do Comando Numérico (NC e CNC), e da robótica. O fato é que, a cada robô que foi implantado, foram criados cinco empregos adicionais para manter a eficiência da implementação da automação e dos serviços necessários para garantir sua sustentabilidade. Por sinal, os empregos criados demandaram uma mão de obra especializada para viabilizar essa sustentabilidade, o que a tornou mais qualificada e melhor remunerada, e contribuiu para alavancar o desenvolvimento de muitas economias (WINTERSTEIN, 2014).

4.2 MANUFATURA ADITIVA E O CAMINHO PARA A PERSONALIZAÇÃO EM MASSA

À véspera da Revolução Industrial, os produtos eram manufaturados por artesãos, que os produziam de acordo com as características e necessidades demandadas de cada cliente. Com a implantação de uma Revolução Industrial no final do século XVII, teve início um processo de transformação na manufatura e nas relações de consumo que culminou no modelo de Produção em Massa, no início do século XX. A Produção em Massa permitiu a redução drástica dos custos de fabricação e, conseqüentemente, que parcelas cada vez maiores das populações tivessem acesso a uma variedade crescente de produtos industrializados de qualidade. Mas por consequência, isto teve um efeito colateral notado – a perda da individualidade, já que os produtos fabricados no modelo de Produção em Massa são padronizados e oferecem relativamente poucas soluções que satisfaçam na sua totalidade, as expectativas e necessidades dos clientes, principalmente daqueles que dependem de o produto, por exemplo, possua uma característica anatômica dedicada para uma melhor utilização. Nos mercados amadurecidos atuais, a manufatura sinaliza para uma nova transformação, que aponta para a direção de um novo paradigma chamado Personalização em Massa, conceito este que combina alguns dos aspectos do trabalho artesanal com outros da produção em massa. Os méritos principais que se desejam alcançar com a implantação de um modelo de Personalização em Massa são oferecer bens e serviços customizados às necessidades específicas de cada consumidor, tal como eram feitos antes da Revolução Industrial, mas sem abrir mão da eficiência e Economia de Escala que até então a Produção em Massa proporcionava. Contudo, a viabilidade de se implementar um modelo de Personalização em Massa depende essencialmente de dois fatores intrínsecos a cada mercado, onde é requerido que as preferências do consumidor sejam muito heterogêneas e que a demanda por produtos personalizados seja grande o suficiente para cobrir os custos de se introduzir um novo sistema de fabricação. Estudos apontam que consumidores possuem necessidades muito particulares, que muitos estão insatisfeitos com produtos padronizados e uma parcela significativa destes está disposta a pagar preços acima

da média por produtos que satisfaçam as suas necessidades e expectativas mais individuais (BUENO, 2012).

A razão para uma insatisfação com modelo de Produção em Massa aparenta estar relacionada com a incapacidade deste em suprir as necessidades específicas dos consumidores. Produtos padronizados atendem apenas as preferências comuns de clientes médios de um determinado segmento de mercado. E isto implica em uma parcela considerável de clientes que não tem suas expectativas atendidas de forma plena, mesmo quando se trata de mercados maduros. Um indicador das preferências de um mercado serem heterogêneas é o fato de usuários em determinados segmentos de mercado estarem modificando produtos existentes. Em um estudo de caso, Franke e von Hippel (2002) mensuram que entre 9,8 e 36% dos consumidores em determinados segmentos de mercado já modificaram produtos, para que lhes conferissem entre variados parâmetros almejados, desde um conforto mais adequado, um desempenho mais adequado, ou até mesmo apenas uma forma de expressar a personalidade individual utilizando o produto. A Personalização em Massa pode ser aplicada em três níveis que podem ser simultâneos e não concorrentes – Estilo, ajuste e conforto, funcionalidade. Atualmente, a maior parte dos casos de Personalização em Massa enfatiza o estilo, no qual são fabricados produtos de acordo com as necessidades ou desejos de consumidores específicos com relação à aparência – cores, formas, etc., o que toca muito o emocional e a personalidade do indivíduo (BUENO, 2012).

Na personalização de ajuste e conforto, os produtos são fabricados sob medida para determinados consumidores. A implementação de programas para a fabricação de produtos sob medida demanda sistemas complexos e caros para capturar as dimensões dos consumidores e incorporá-las ao projeto dos produtos. Na personalização de funcionalidade são fabricados produtos com atributos especificados pelos clientes, tais como velocidade, precisão, potência, dispositivos de saída, interfaces, conectividade, etc. A implementação de processos para fabricação de produtos com funcionalidade personalizada requer esforços similares aos da personalização de ajuste e conforto. Apesar de a aplicação do modelo de Personalização em Massa ainda estar em estágio inicial, alguns casos de implementação desse modelo podem ser encontrados em escala comercial. Como por exemplo, as fabricantes de calçados *Nike* e *Adidas* introduziram programas de personalização que permitem conceber tênis sob medida, com sistema de

amortecimento adaptado às características do consumidor e com estética de acordo com as preferências pessoais de cada cliente. A fabricante de relógios *Swatch* lançou um sistema de personalização de estilo de relógios de pulso em que os consumidores são guiados ao longo do processo por vendedores em lojas físicas. A *Dell Computers* implementou um programa que permite a configuração de computadores pessoais durante o processo de compra através de seu *website* na internet. Acredita-se que o caso da *Dell* seja o mais conhecido e bem sucedido programa de Personalização em Massa posto em prática até então (BUENO, 2012).

Com a crescente incorporação das tecnologias de Manufatura Aditiva nos processos de projeto e fabricação de produtos personalizados, o cenário da manufatura convencional tende a se alterar de forma significativa. Na manufatura convencional, há uma ligação direta entre a complexidade geométrica de um produto e o seu custo. Na Manufatura Aditiva, não só o custo não está mais relacionado com a geometria, mas virtualmente qualquer geometria pode ser fabricada. Considerando que na MA não se faz mais necessário produzir altos volumes para amortizar custos de desenvolvimento e ferramental, as possibilidades de fabricação de produtos personalizados complexos são ampliadas a um patamar que muitos consumidores poderiam julgar que não fosse possível atingir. As tecnologias advindas da Manufatura Aditiva oferecem ainda a possibilidade de fabricação de produtos fora do ambiente industrial, podendo ser produzidos diretamente no ponto de venda ou em outros locais mais convenientes para o consumidor. Para os consumidores, a Manufatura Aditiva combinada às tecnologias emergentes de escaneamento digital trazem o potencial de conceber produtos com maior conforto e desempenho, como nos casos da Personalização em Massa exemplificados anteriormente. Isto acaba por atender muito melhor as expectativas e necessidades de cada cliente e aumenta a percepção de qualidade no produto adquirido (BUENO, 2012).

Em suma, a adoção das tecnologias de fabricação por Manufatura Aditiva tornam possível a comercialização de produtos com níveis de personalização superiores e até mesmo inalcançáveis se comparados aos até então obtidos com os métodos tradicionais, o que fortalece a idéia de que o modelo de Personalização em Massa, alçado pela evolução da Manufatura Aditiva, vem para sanar os reais desejos dos mercados consumidores e tem a força disruptiva necessária para se tornar o novo modelo de negócios para o século XXI (BUENO, 2012).

4.3 A INFLUÊNCIA NA ECONOMIA PERANTE A ADOÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA

A seguir, é apresentado o apanhado de alguns estudos que levaram em conta a tecnologia de Manufatura Aditiva como possível agente modificador do cenário econômico contemporâneo. Desde uma predição dos rumos que a Manufatura Aditiva pode contribuir para a evolução do processo produtivo no mercado de manufatura atual, passando por um comparativo entre os seus custos e os da Manufatura Industrial já há muito estabelecida, a subseção encerra com as constatações de autores que encontraram relação entre as características da Manufatura Aditiva que atendem perfeitamente aos requisitos de uma metodologia de *lean thinking* de ganho de eficiência e velocidade no atendimento ao mercado.

4.3.1 A Manufatura Aditiva modifica as Relações de Mercado

Conforme a aplicação da Manufatura Aditiva se sedimenta no mercado de manufatura, as empresas que a experimentam se beneficiam de capacidades muito inovadoras, como a que possibilita uma notável Economia de Escala, já que a MA pode reduzir a EME à medida que reduz o valor inicial para produzir a primeira unidade. Com a queda da EME, a produção pode se posicionar mais adequadamente em relação ao mercado, ou seja, pode se dispersar em todo o território, se alocando mais próximo ao cliente final, o que diminui consideravelmente ou até elimina custos como os de distribuição, como pode ser visto na relação de custo por unidade produzida representado pelo gráfico 2. A MA também tende a gerar Economia de Escopo para o fabricante, à medida que permite a produção sequencial de produtos distintos e a fabricação de peças de geometria tão complexa, que outrora seriam custosas ou até mesmo impossíveis de fazer com a planta industrial implantada para o escopo da empresa. Tendo a Manufatura Aditiva capacidade disruptiva de desconstruir dois dos mais importantes *trade-offs* da manufatura convencional, alterando a relação Escala vs Capital, potencialmente impactaria a cadeia de suprimentos. Paralelamente, podendo também alterar a

relação Escopo vs Capital, tem o potencial em impactar o *design* de produtos. Porém, os impactos mencionados podem ser contrastantes e levar a considerar caminhos pelos quais a Manufatura Aditiva levaria a evolução do processo produtivo no mercado contemporâneo (SILVA e VALES, 2015).

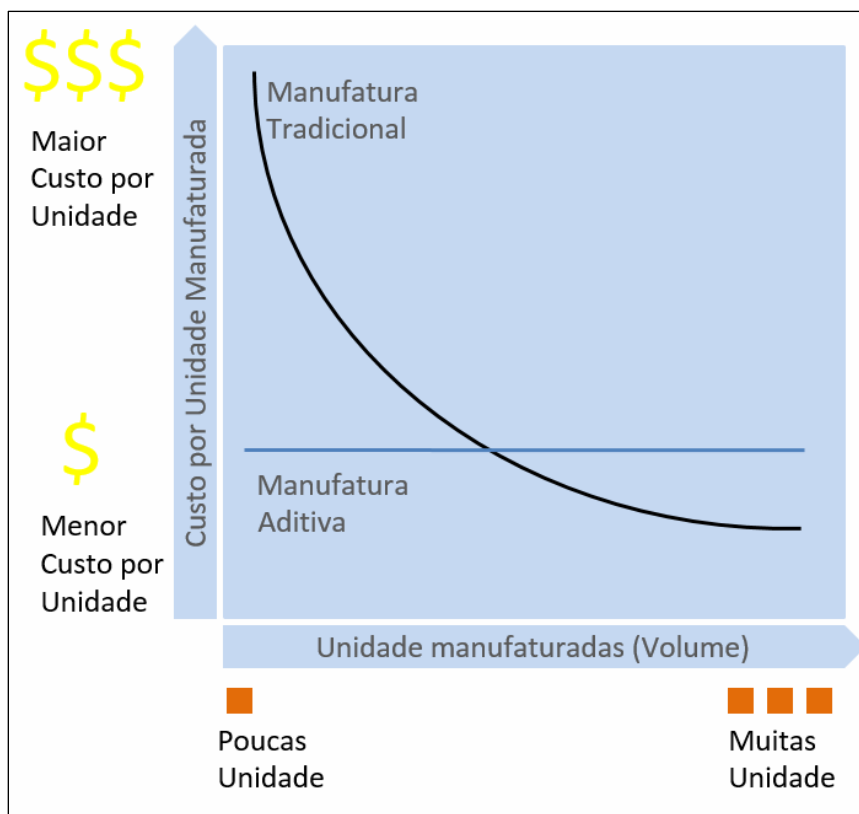


Gráfico 2 - Relação Custo x Unidade
 Fonte: SILVA e VALES (2015).

4.3.1.1 Caminho I: Inércia

Seguindo este caminho, as empresas não buscarão mudanças drásticas nem na cadeia de suprimentos nem nos produtos, mas porém, podem manter o interesse em adotar a Manufatura Aditiva para agregar valor aos produtos já existentes. A aplicação da Manufatura Aditiva é dada apenas às etapas de desenvolvimento do produto como a conceituação, design e prototipagem ou em melhoramentos daqueles produtos já existentes. Nesse sentido, a Manufatura Aditiva é a ferramenta que ajudará a quebrar *trade offs* entre custo, velocidade de

desenvolvimento e alinhamento com a satisfação do cliente final (SILVA e VALES, 2015).

4.3.1.2 Caminho II: Evolução da Cadeia de Suprimentos

Neste, as empresa tiram vantagem da Economia de Escala proporcionada pela Manufatura Aditiva como um modificador da sua cadeia de suprimentos, podendo impactá-la de três maneiras: reduzindo o investimento, melhorando a capacidade de resposta ao mercado e reduzindo os *inputs* necessários para o processo produtivo. Como visto anteriormente, devido ao fato de a produção unitária na MA não demandar alto grau de investimento, possibilita o deslocamento de recursos para que a produção seja alocada mais próxima a demanda. Com a capacidade de se produzir com uma flexibilidade não experimentada pelos meios de produção atual, a Manufatura Aditiva torna possível, até certa forma, uma resposta quase instantânea ao mercado consumidor sem aumento significativo nos custos, pois requer menos recursos para iniciar a produção, desde investimentos em desenvolvimento, matéria-prima e maquinário, reduzindo os *inputs* necessários (SILVA e VALES, 2015).

4.3.1.3 Caminho III: Evolução do Produto

Adotando as técnicas de Manufatura Aditiva para evoluir seus produtos, as empresas tendem para a Economia de Escopo para atingir novos níveis de inovação ou performance. O *design* do produto passa a ser tão impactado pela forma, que será produzido tanto em favor dessa, quanto pela sua funcionalidade. As áreas que mais podem se aproveitar da Economia de Escopo que a Manufatura Aditiva proporciona são a customização de peças, onde as mesmas podem ou não ser de alta complexidade, e a simplificação do processo produtivo. Existem, porém, algumas limitações presentes neste processo de fabricação, mas nada que a

evolução continuada dessas tecnologias não possa contornar em breve (SILVA e VALES, 2015).

4.3.1.4 Caminho IV: Evolução do Modelo de Negócio

Por fim, as empresas podem perseguir uma alteração em ambos o produto e a cadeia de suprimentos. Desse modo alterarão profundamente seu modelo de negócio, o que pode combinar os benefícios provenientes dos caminhos 2 e 3 e ao mesmo tempo eliminar suas limitações. O movimento “*make*” pode se mostrar um grande nicho e propulsor para realizar esta mudança, porém, outras indústrias existentes como a de utensílios domésticos e as de tecnologias médicas de desenvolvimento de próteses podem também seguir esse caminho. A desintermediação pode ser um resultado no novo modelo de negócio de empresas que visam esse caminho, já que possíveis mudanças no relacionamento entre os produtores e consumidores encurtarão a distância entre o que os mercados desejam e o que é desenvolvido pelos fabricantes (SILVA e VALES, 2015).

4.3.2 Os Custos da Manufatura Aditiva em relação à Manufatura Industrial

Verificando cada um dos caminhos supracitados, é possível analisar os prováveis impactos de cada um no desenvolvimento do produto, em especial nas etapas de planejamento da produção, tanto quanto no processo produtivo em si. Cotteleer (2014) infere que uma comparação entre os custos diretos relacionados à manufatura convencional e a Manufatura Aditiva se diferenciam em quatro elementos chave: ferramental, custo de equipamentos, materiais e em uma porção menor, a mão de obra. Ferramental seriam os dispositivos necessários para a criação de um produto finalizado ou protótipo, como por exemplo, moldes, fixadores e medidores. Pesquisadores italianos descobriram que na produção de componentes eletrônicos, o desenvolvimento de moldes de injeção era responsável por 93,5% dos custos para a produção. Além disso, após a fabricação do molde, é

necessário considerar o armazenamento do mesmo para possíveis processos futuros, despesa essa que também onera o custo de fabricação do produto. No caso da Manufatura Aditiva, esse custo é praticamente eliminado, pois não existe a pré-produção como supracitado. Porém, ainda de acordo Cotteleer (2014), o custo da aquisição de equipamentos de Manufatura Aditiva, como no caso uma própria impressora 3D, é responsável por 60 a 70% da estrutura de custo direto. Já o custo com matéria-prima é mensurado em cerca de 30% da estrutura de custo, o que é relativamente muito alto se comparado ao método tradicional de cerca de 0,2 a 2,7%. Para contrabalancear, dependendo do processo e do produto a ser impresso, existe a possibilidade de reuso quase que total do material que seria desperdiçado. Na manufatura convencional, em casos como no setor aeroespacial, a razão de material descartado varia de 6:1 a 33:1, ou seja, 83 a 97%. Quanto à mão de obra, os custos relacionados à mesma são reduzidos em casos em que haja a necessidade de uma montagem de pós-produção. Por exemplo, a montagem de uma peça a partir de três outras, pois há uma redução no tempo em cerca de 67% em relação a montagem tradicional quando se imprime em 3D. Para tanto, o volume de produção se mostra crítico e o fabricante deve sempre encontrar um "pacote" ideal para uma leva de impressão, através de algoritmos que consigam calcular qual a ótima disposição das peças na mesa de impressão para o melhor aproveitamento do tempo. Para Cotteleer (2014), a maioria dos estudos feitos relacionam custo de equipamento, material e mão de obra como os principais custos na estrutura de Manufatura Aditiva. Resultados de comparações demonstram que a Manufatura Aditiva oferece o potencial de se equiparar ao método tradicional em questão de custo, para níveis de produção baixas e intermediárias, como apresentado no gráfico 3 e no quadro 1 abaixo (SILVA e VALES, 2015).

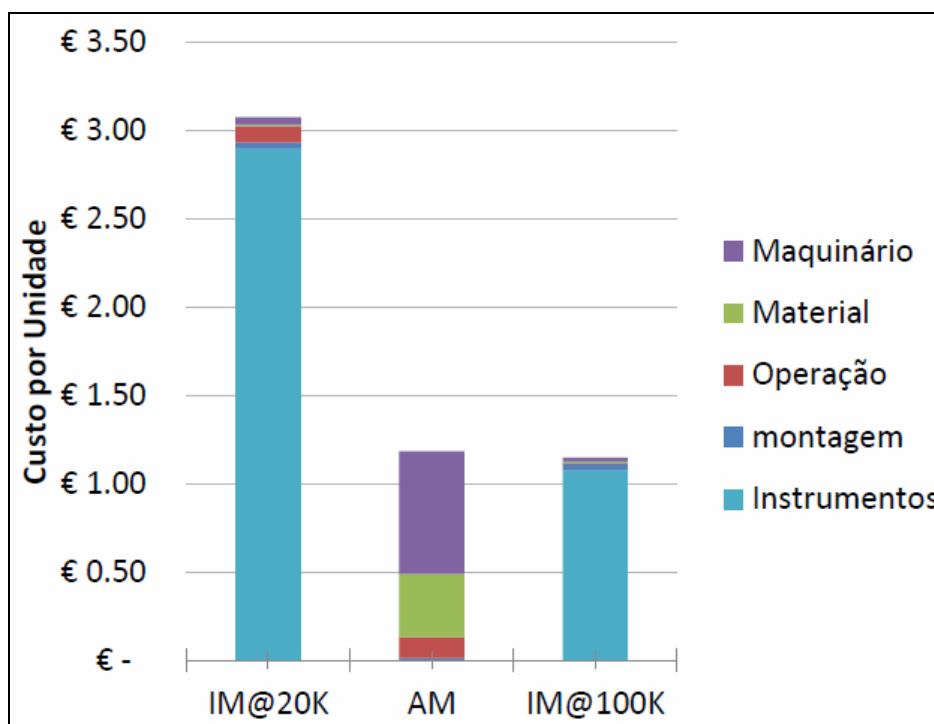


Gráfico 3 - Intervalo economicamente viável entre a Manufatura Aditiva (AM) e a Manufatura Industrial (IM)

Fonte: SILVA e VALES (2015).

	<u>IM@20K</u>	<u>AM</u>	<u>IM@100K</u>
Montagem	€ 0.04	€ 0.01	€ 0.04
Operação	€ 0.09	€ 0.12	€ 0.00
Material	€ 0.01	€ 0.36	€ 0.01
Maquinário	€ 0.04	€ 0.69	€ 0.02
Instrumentos	€ 2.90	€ -	€ 1.08
Total	€ 2.900	€ 1.183	€ 1.149

Quadro 1 - Comparação de custos entre a Manufatura Aditiva (AM) e a Manufatura Industrial (IM)

Fonte: SILVA e VALES (2015).

É prudente notar também, que nem sempre somente o custo deve ser levado em consideração para o desenvolvimento e fabricação de um produto. Há empresas como *Apple* e *Tesla* que estão optando em manter uma performance superior sustentada, focando em serem melhores no atendimento ao mercado antes de serem mais baratas. Adicionando ao fato de que os ciclos de produtos são cada vez menores, e ciclos de design são cada vez mais acelerados, é de se vislumbrar

que a Manufatura Aditiva faça cada vez mais sentido em alguns segmentos de mercado (SILVA e VALES, 2015).

4.3.3A Manufatura Aditiva e o pensamento enxuto

A percepção dos processos que não agregam valor ao cliente está na raiz do pensamento enxuto, ou *lean thinking*, que surgiu a partir do sistema Toyota de produção e parte do princípio de se eliminar os desperdícios, via melhoramento contínuo do processo de produção ao se identificar o que agrega ou não valor para o consumidor. Para que se evite o desperdício, é preciso que o produtor se coloque na posição do cliente para que reflita criticamente sobre os processos, da forma como são feitos atualmente. Em sua maioria, as tarefas realizadas nesse processo são em favor das Economias de Escala dos próprios ativos do sistema, e não em favor do cliente, o que em primeira instância é intuitivo, pois esses ganhos de escala contribuem para a remuneração lucrativa das empresas. O pensamento enxuto é usualmente apresentado segundo cinco passos de raciocínio, apresentados abaixo (SILVA e VALES, 2015):

PASSO 1: Identificar o que é valor para o cliente;

PASSO 2: Mapear o fluxo de produção e identifique os desperdícios;

PASSO 3: Implantar o fluxo contínuo;

PASSO 4: Deixar o cliente puxar a produção;

PASSO 5: Buscar a perfeição.

Levando em conta o que se consegue eliminar de desperdícios transformando o sistema, passando a produzir em lotes menores e em um fluxo contínuo, o PASSO 4 é natural e é possível que se consiga esperar o surgimento da demanda para disparar a produção. Aqui é visto que com a Manufatura Aditiva esse é exatamente o caso, a produção só é disparada uma vez que é feita uma demanda e o gargalo geralmente se torna exatamente o tempo que a técnica de impressão por Manufatura Aditiva empregada leva para produzir o lote. Por fim, a abordagem do fluxo contínuo faz mais sentido em ambientes industriais onde o fluxo seja a tônica e não a exceção, e divide a produção em dois extremos, a produção de bens

e serviço em massa e o prestador de serviços customizados. A metodologia *lean* se encaixa perfeitamente para o primeiro, mas para a Manufatura Aditiva, dificilmente se terá um método de produção puxado com fluxos contínuos. Na verdade, em alguns casos é de se considerar que produzir nas impressoras 3D se torna inviável e mais custoso. Porém, de acordo com os autores Costa e Jardim (2010), "exatamente porque nunca foi o foco deste ambiente, a padronização e a busca de tempos e atividades que não agregam valor, pode por isso mesmo ser uma fonte de águas limpas, com grandes oportunidades ao seu dispor." (SILVA e VALES, 2015).

4.4 A MANUFATURA ADITIVA NO BRASIL

Um breve panorama do desenvolvimento e aplicação da Manufatura Aditiva no Brasil e nas principais regiões do mundo dos últimos anos é verificado nos itens desta subseção, e nela é possível conferir um paralelo entre a situação de plena ascendência na aplicação industrial da Manufatura Aditiva nos principais mercados econômicos, comparando com a situação do Brasil, que ainda busca de parcerias de desenvolvimento para poder contextualizar a aplicação da Manufatura Aditiva em seu próprio mercado, o qual também nutre a ambição de se tornar referência nesta tecnologia quando se falar na região da América Latina.

4.4.1 O desenvolvimento da Manufatura Aditiva em um panorama global

Conforme levantado por Shipp et al. (2012), os Estados Unidos mantém uma sólida posição para continuar como líderes industriais e referência na área da Manufatura Aditiva, inclusive também na adoção da manufatura por máquinas de impressão 3D de baixo e médio custo. Do total da base de MA instalada no mundo, a região Norte Americana detém 43% das máquinas, seguida da Europa, com 30%, a Ásia e região do Pacífico com 23% e as regiões restantes do mundo, onde se encontra o Brasil, com 4%. Enquanto vários fabricantes americanos estão se inserindo com sucesso no mercado europeu com a Manufatura Aditiva, vários

fabricantes europeus começaram a competir em muitos segmentos de mercado, em especial no de fabricação direta em metal por Manufatura Aditiva, no qual também são líderes por possuírem os centros de pesquisa referência para este segmento.

Grosso modo, um quarto das máquinas de Manufatura Aditiva instaladas no mundo está na Ásia. Destas, o Japão possui quase a metade e a China detém por volta de um quarto. O Japão foi um dos primeiros a adotar a tecnologia de Manufatura Aditiva, e recentemente suas empresas têm sido relativamente incapazes de vender máquinas para fabricantes fora do Japão. A situação é semelhante na China, onde um grande número de empresas oferece agora serviços de MA, principalmente para projeto e prototipagem em vez da produção de peças de fato. Esta tendência é um exemplo de como as fases preliminares do desenvolvimento de produto passaram a considerar a Ásia capacitada para assumir esse nível de responsabilidade na cadeia de valor do produto. Há algum crescimento em Taiwan e Austrália, mas como aconteceu na China, o crescimento deve-se principalmente ao uso, ao invés da inovação e desenvolvimento. Recentemente, parece haver poucas empresas asiáticas que têm uma presença global. Já Israel emergiu como fornecedor global, graças a uma única empresa, a *Objet Geometries*, que já vendeu quase tantas máquinas de Manufatura Aditiva quanto todas as empresas européias do ramo já venderam no mundo. (SHIPP et al., 2012).

4.4.2 O panorama brasileiro

O Brasil teve como prioridade ao longo dos últimos anos o desenvolvimento de seu setor manufatureiro, tanto em termos de tecnologia quanto de capacidade, fechando parcerias tecnológicas com outros países em troca principalmente do fornecimento de matérias-primas. Embora os investimentos do Brasil em P&D sejam baixos, se comparado aos países mais industrializados, em 2010 o país já dispunha uma quantia da ordem de 1,5% do PIB destinado à P&D. Desta forma o desenvolvimento de novas tecnologias para atender a demanda local e de exportação tem contribuído para melhorar o desempenho dos fabricantes nacionais. Porém, em se falando de Manufatura Aditiva no mercado brasileiro, o que é realidade nos mercados americano, europeu e asiático, ainda se encontra em uma

fase primária de aplicação, o que corrobora também o fato de não se encontrar um levantamento amplo sobre a situação dessa área específica no Brasil por parte de entidades como a ABDI, por exemplo (LOURAL, 2014; SHIPP et al., 2012).

Tanto no Brasil quanto no mundo, os desenvolvimentos tecnológicos e científicos são necessários em várias frentes para vencer os desafios do desenvolvimento de processos e de equipamentos de Manufatura Aditiva. Atualmente, técnicas e materiais de Manufatura Aditiva são um tanto mais caros e lentos do que a manufatura convencional para produção em larga escala. Além disso, a maioria das máquinas de Manufatura Aditiva é apta a produzir pequenas peças, produtos de consumo e componentes médicos, mas não grandes produtos, o que não encoraja em um primeiro momento que indústrias brasileiras a investir em uma guinada na maneira em que estão habituadas a conceber e fabricar seus produtos para o mercado brasileiro. O investimento em pesquisa é necessário para reduzir os custos de materiais e processos de Manufatura Aditiva, e também para acelerar a velocidade dos processos e dimensionar os recursos, tanto em termos de volume produzido e de tamanho do produto. Mas é importante também a adoção de uma política que desempenhe um papel de acelerar o desenvolvimento de uma indústria de Manufatura Aditiva nacional. (SHIPP et al., 2012).

Uma pesquisa apresentada no 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (VOLPATO e COSTA, 2013) deu enfoque à maneira como a Manufatura Aditiva vem sendo estudada e desenvolvida no Brasil, e relacionou 23 grupos de pesquisa na área. Com relação à disposição destes grupos, 44% estão na Região Sudeste e 44% na Região Sul. Na relação encontram-se entidades públicas e privadas, muitas das quais tem parcerias com instituições de ensino e pesquisa. O foco principal dos trabalhos são a prototipagem e a manufatura rápida. A maioria dos grupos presta serviços de MA, sendo que 33% disto são para fins de pesquisa, não envolvendo empresas. Por volta de 66% dos grupos tem atuado no desenvolvimento de tecnologia própria, principalmente na aplicação de materiais poliméricos, metálicos e cerâmicos. Um importante agente da aplicação da Manufatura Aditiva brasileira é o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, do MCTI em Campinas-SP, onde há vários anos vêm desenvolvendo um programa de P&D em tecnologias 3D, com um histórico de mais de 5.000 serviços tecnológicos de prototipagem e manufatura rápida para a indústria, além de linhas de pesquisa em

prototipagem e manufatura rápida, aplicações biomédicas e de bioimpressão (CTI,2014; LOURAL, 2014).

4.4.3 Uma Rede de Manufatura Aditiva no Brasil

Visando aproximar os pesquisadores, fortalecer e dar maior visibilidade a área de aplicação da Manufatura Aditiva, em 2011 foi estruturada no Brasil uma Rede de Manufatura Aditiva (RMA) para o fim de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação de Tecnologias voltadas para os processos de Manufatura Aditiva, a qual agrega pesquisadores atuando em temas tais como: Projeto para Manufatura Aditiva (DFAM), Planejamento de Processos, Desenvolvimento de tecnologias e de Materiais para Manufatura Aditiva, além de Aplicações de Manufatura Aditiva em várias áreas do conhecimento, tais como prototipagem, manufatura rápida, biomodelos, ferramental rápido, entre outros. A RMA brasileira foi oficialmente estabelecida em uma reunião de pesquisadores da área de MA realizada em abril de 2011 em Caxias do Sul-RS, durante o Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - COBEF 2011. Esta rede é derivada da rede formada inicialmente pelo antigo grupo de prototipagem rápida (GPR) da Rede de Automação da Manufatura (MANET). Naquela reunião foram expostos os objetivos e as motivações para a criação da rede, sendo estes: identificar pesquisadores que estivessem trabalhando com os processos de Manufatura Aditiva, levantamento das competências na área, organização do grupo possibilitando aproveitar oportunidades de projetos e redes temáticas e a formalização da área de Manufatura Aditiva junto às associações de engenharia, como por exemplo, a Associação Brasileira de Engenharias e Ciências Mecânicas (ABCM). Algumas finalidades adicionais da rede também foram pontuadas, como a possibilidade de cooperação na formação de pessoal (mestrado, doutorado e pós-doutorado), a colaboração na divulgação das tecnologias de Manufatura Aditiva, com a possibilidade futura de atualização e ampliação do primeiro livro da área em português (VOLPATO, 2007) e a possibilidade de realização de seminário nacional específico da área (VOLPATO e COSTA, 2013).

Pesquisadores de instituições que lideram pesquisas na área de Manufatura Aditiva são os membros que compõe a RMA. A RMA também conta com a

participação de estudantes, a qual se dá de forma indireta, por meio dos grupos de pesquisas orientadas pelos pesquisadores vinculados, destacando-se que no Brasil já é possível obter uma formação de pós-graduação específica na área de Manufatura Aditiva. Em função do caráter de pesquisa atribuído a RMA, é vetada a participação de empresas/representantes de tecnologias de Manufatura Aditiva, bem como de empresas ou laboratórios puramente prestadores de serviço. A participação de entidades privadas somente é prevista na forma de possíveis parcerias em projetos de P&D. Já em 2013, a RMA do Brasil possuía 23 membros cadastrados e desenvolvendo trabalhos na área (VOLPATO e COSTA, 2013).

Em sua pesquisa sobre a RMA, Volpato e Costa (2013) puderam observar uma diversidade de linhas e focos de pesquisas e de tecnologias das quais a RMA já dispunha, mostrando uma preocupação dos participantes da Rede quanto ao domínio dessa tecnologia com relação a equipamentos e ao desenvolvimento de novos materiais. Para os autores, o grande envolvimento dos grupos com o desenvolvimento de tecnologias de Manufatura Aditiva tinha grande potencial de consolidar os trabalhos em produtos finais. Ressaltam ainda que, apesar de o artigo ter se restringido aos grupos de instituições brasileiras, a RMA não é restrita nacionalmente, e há a possibilidade de que membros de fora do país possam contribuir para a elaboração de projetos internacionais em conjuntos, ampliando-se as fontes de fomentos e a quantidade de recursos que podem ser captados pelos participantes da Rede para apoio as suas pesquisas. Um aspecto que também merece atenção é compreender o quanto da P&D em Manufatura Aditiva realizada atualmente é motivada ou está alinhada com as perspectivas do setor industrial brasileiro. Nesse sentido, pesquisas adicionais devem ser efetuadas nesta área. A pesquisa de Volpato e Costa (2013) foi realizada somente com grupos vinculados às instituições de pesquisa e ensino elegíveis à RMA, mas os próprios autores consideraram a importância de se somar ao levantamento sobre a RMA as informações colhidas a partir de empresas privadas específicas prestadoras de serviço na área, para assim compor um mapa geral da realidade da Manufatura Aditiva brasileira. Eventualmente, isso poderia ser feito em parceria com associações envolvidas com as áreas de prestação de serviço no Brasil (VOLPATO e COSTA, 2013).

4.4.4 Projeto brasileiro de cooperação internacional para o desenvolvimento da Manufatura Aditiva

Após uma série de reuniões de especialistas e representantes de vários países latino-americanos e do Caribe entre os anos de 2011 e 2012, para a discussão de uma ação de integração, nos campos da Ciência, Tecnologia e Inovação, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), uma organização social supervisionada pelo MCTI, a qual subsidia a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) concomitante as decisões de longo prazo dos setores público e privado em temas relacionados, e a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (Cepal), uma das cinco comissões econômicas regionais criadas pela ONU em 1948 para monitorar e assessorar as políticas direcionadas à promoção do desenvolvimento econômico das regiões supracitadas, firmaram um acordo de cooperação para alcançar maior integração regional de P&D no campo da ciência, tecnologia e inovação, por meio da elaboração conjunta de projetos entre os países participantes. Deste acordo derivou um projeto de Integração Latino-americana em Manufatura Aditiva, considerado relevante para a geração, consolidação e desenvolvimento de competências técnico-científicas na área, o qual teve adesão dos países Argentina, Brasil, Chile, Equador, El Salvador, México, Peru e Venezuela (CGEE,2016; MCTI, 2016).

Como contexto, esse projeto evidenciou que paralelamente ao avanço da tecnologia, novos mercados vêm surgindo para novas demandas regionalizadas, que antes eram pobremente atendidas pelos processos massificados da manufatura convencional. Dentre essas demandas podem ser observadas aquelas em mercados de alta tecnologia, como o de produtos eletrônicos e do complexo da saúde. Neste, próteses e dispositivos biomédicos, bem como soluções personalizadas requerem ciclos de desenvolvimento altamente eficientes, rápidos e de baixo custo, que possibilitem a personalização das soluções para máxima efetividade no atendimento de cada paciente. A personalização nesta área é considerada uma característica fundamental, mas que não podia ser atendida de forma satisfatória pela natureza da manufatura convencional. O gráfico 4 de Gartner (2012) demonstra que em 2012 a impressão 3D estava no pico de suas expectativas e estimava-se que atingiria sua maturidade produtiva em até 10 anos, e permitiu aos

proponentes do projeto considerar a Manufatura Aditiva como a tecnologia emergente chave e a pedra fundamental nesta nova lógica de manufatura, possibilitando obter alto nível de personalização com velocidade e controle que viabilizam sua massificação. Países líderes e emergentes na economia mundial já há muito investem em capacitação e estabelecimento de núcleos especializados nestas novas tecnologias, como forma de preparar a mão de obra e fomentar o surgimento desta nova manufatura, garantindo assim a hegemonia de suas participações no mercado internacional. Tendo esta referência, tornou-se preocupante a ausência quase que completa de iniciativas deste tipo no bloco da América Latina e Caribe, principalmente quando se pensa em termos da participação destes países na economia mundial futura e em suas autonomias. Neste contexto, o esforço de integração da região da América Latina e Caribe em ciência, tecnologia e inovação foi considerado altamente importante para o futuro de todos os integrantes regionais, constituindo-se numa das alternativas para o ganho de competitividade e da independência futura da região em questões de manufatura (CGEE,2013).

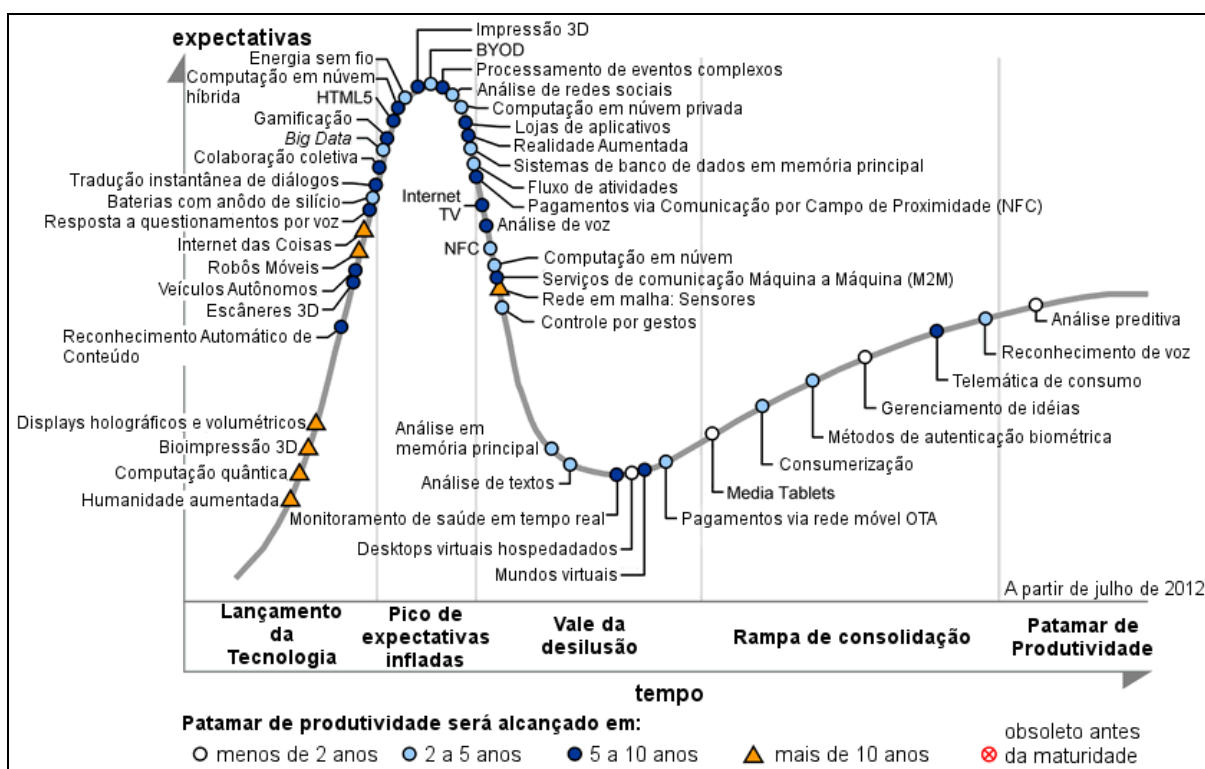


Gráfico 4 – Curva “Hype Cycle” de visibilidade e maturidade de tecnologias emergentes
 Fonte: Adaptado de Gartner (2012).

O objetivo do projeto é promover o uso de impressão 3D para gerar soluções inovadoras, personalizadas e de alta tecnologia na solução de problemas do complexo industrial de saúde. Com esta iniciativa, estima-se inserir os Países da América Latina e Caribe na economia mundial também como desenvolvedores de soluções inovadoras e de produtos de alto valor agregado, com o uso de tecnologia de Manufatura Aditiva. O projeto foi iniciado com quatro países parceiros, onde se encontram as entidades líderes do tema, o CTI Renato Archer no Brasil, o Instituto Tecnológico de Ensino Superior de Monterrey no México, o Instituto de Pesquisas em Ciência e Tecnologia de Materiais na Argentina e o Departamento de Química da Universidade Simón Bolívar na Venezuela. Apesar da seleção destes países para o início do projeto, todos os países interessados na região da América Latina e Caribe são potenciais parceiros, que podem ser incluídos em etapas subsequentes de preparação da versão completa do projeto, ou mesmo em alguma etapa posterior de desenvolvimento ou amadurecimento (CGEE,2013).

Como retorno dos esforços da integração para o desenvolvimento da Manufatura Aditiva, espera-se desenvolver uma nova economia para a região, baseada em produtos personalizados produzidos em massa, atendendo aos novos padrões de mercados internacionais. Em território brasileiro, são esperados benefícios de curto prazo para o complexo da saúde, primeira aplicação proposta pelo projeto, e ao qual o uso das novas tecnologias de Manufatura Aditiva e da incorporação do novo paradigma de personalização em massa, podem trazer inovações e melhorias dos dispositivos biomédicos, bem como nos procedimentos de alta complexidade, reduzindo custos e melhorando a qualidade dos resultados para os tratamentos de saúde. Finalmente estima-se que, a consolidação dos centros de Manufatura Aditiva nacionais, bem como sua integração com os demais centros latino-americanos, construirá um ambiente de inovação e capacitação, preparando a região para responder aos novos desafios mercadológicos, garantindo autonomia e independência tecnológica industrial e a ascensão dos países parceiros para uma posição mais ativa em um novo cenário econômico mundial (CGEE,2013).

5 DISCUSSÃO

No decorrer da pesquisa, foi evidenciado que uma das principais vantagens da tecnologia de Manufatura Aditiva é a redução no número de etapas no processo produtivo para se fabricar uma peça. A complexidade geométrica já não é tão determinante como nos processos convencionais e é possível de ser produzida em uma única etapa, enquanto a maior parte dos sistemas de manufatura convencional requer várias etapas de fabricação e que dependem de elaborado planejamento de produção, acompanhamentos e de ciclos de aferição. Na manufatura convencional, a resposta esperada quando se eleva o número de detalhes de uma peça, é de que os estágios de fabricação tendem também a aumentar e, inevitavelmente os custos, e é dentre estes e demais aspectos que a evolução da Manufatura Aditiva se mostra capaz de contrapor e em alguns casos já superar o modelo estabelecido da manufatura convencional.

Olhando pelo lado técnico da Manufatura Aditiva, é possível verificar que os principais sistemas de impressão 3D, apesar de trabalharem através do mesmo conceito de materialização em camadas, possuem técnicas diferenciadas, o que os leva a ter características distintas e que devem ser consideradas para uma maior eficácia para as aplicações desejadas. Tendo uma visão de cada uma das tecnologias de impressão da Manufatura Aditiva abordadas, um resumo foi elaborado a título de destaque das principais informações coletadas, priorizando as vantagens de cada tecnologia do ponto de vista da aplicação para o *design*, o que pode auxiliar a realizar uma comparação entre elas e estimar a tecnologia de melhor contribuição para a evolução do cenário de desenvolvimento de produto nacional e que eventualmente teria a maior possibilidade de ser aplicada considerando também as informações de cunho mercadológico e de desenvolvimento destacadas nesta compilação literária. Este resumo é apresentado pelo Quadro 2.

Mesmo sendo constatado durante a pesquisa que as técnicas de Manufatura Aditiva ainda carecem de solução para algumas questões referentes à sua aplicação definitiva para a manufatura, as tecnologias continuam a se desenvolver. Máquinas cada vez mais específicas são criadas e, apesar da diversificação, a evolução das aplicações da impressão 3D aponta em direção da adoção da Manufatura Aditiva como meio de fabricação direta para o consumo. Dessa forma é possível distinguir

três momentos evolutivos. O primeiro diz respeito a quando e para quê a tecnologia foi criada, que seria a fabricação de protótipos na fase de desenvolvimento de produtos; o segundo, quando se passa a aplicar a tecnologia em alguma etapa de fabricação dos métodos tradicionais da indústria e por último, a fabricação direta de bens de consumo.

Com a característica da Manufatura Aditiva de fabricação a partir de arquivos digitais contendo a geometria da peça, é perceptível a redução das etapas de desenvolvimento de produto intermediárias e a consequente simplificação dos processos de fabricação. Neste sentido, as considerações inerentes à fabricação que antes eram abordadas em momentos mais avançados do processo de desenvolvimento, passam a ser consideradas desde as etapas mais iniciais. O *design* pode passar a contemplar cada vez mais essas questões técnicas da Manufatura Aditiva, se beneficiando das vantagens que esta tecnologia proporciona, em especial a maior liberdade de criação que é conferida ao desenvolvedor.

Uma eventual mudança nos processos de desenvolvimento também influencia o *design* do produto, que além de poder incorporar as técnicas de Manufatura Aditiva, deve buscar também novas formas de se adaptar à chegada de novas ferramentas, como os *softwares* CAD, que simplificam etapas dos processos de desenvolvimento e fabricação, e estão cada vez mais presentes no dia a dia do desenvolvimento de produto. Com os *softwares* de auxílio no PDP, o processo se torna mais integrado, o tempo e os custos se reduzem, bem como a qualidade final é incrementada.

Durante a análise de informações que iriam compor o assunto sobre as capacidades disruptivas da Manufatura Aditiva, um novo conceito foi lançado à luz das hipóteses que não haviam sido consideradas e mereceu ser imediatamente incorporado ao corpo da pesquisa. Esse conceito é o da Personalização em Massa, que pontua oferecer bens e serviços customizados às necessidades específicas de cada consumidor, em contrapartida às limitações impostas pelo modelo de produção em massa, adotado desde a Revolução Industrial. Já há a algum tempo um descontentamento por parte de alguns dos mercados consumidores com este modelo de produção em massa, que não é capaz de atender as necessidades e os desejos de personalização dos produtos, e a adoção das tecnologias de fabricação por Manufatura Aditiva tem fortalecido a idéia de que o modelo de Personalização

em Massa pode se valer disso para ter a força disruptiva necessária para mudar o modelo de negócios estabelecido.

Olhando isto pelo ponto de vista do *design* de produto, impacta drasticamente o processo de desenvolvimento, pois além de abrir novas possibilidades para a criação de formas que podem ser ao mesmo tempo esteticamente mais interessantes e estruturalmente mais eficientes, trás a variável “consumidor” mais a dentro do PDP como nunca antes havia sido observado. Nesta situação, o produto deixa de ser moldado pelas limitações que os usuais processos de manufatura impõem, e passam a ser idealizados de forma que permitam que o consumidor dê o seu toque de customização, da melhor forma que o atenda e sem que isso gere o ônus que a personalização carrega hoje devido aos processos de manufatura convencionais.

Buscando também expor a relação entre a Manufatura Aditiva e o cenário econômico contemporâneo, o apanhado de alguns estudos mostrou que a aplicação dessa tecnologia leva a considerar o seu papel como agente modificador nas relações de mercado, o que se torna relevante para o *design* à medida que motiva a uma adaptação do desenvolvimento de produto para atender a essas modificações no mercado. Para qualquer predição de evolução do processo produtivo no mercado de manufatura convencional, a Manufatura Aditiva tem características capazes de contrapor as deficiências dos processos produtivos contemporâneos e em muitos casos é apta a contribuir com vantagem em novas abordagens de desenvolvimento mais pontuais as necessidades dos consumidores.

Verificado cada um dos caminhos evolutivos proporcionados pela aplicação da Manufatura Aditiva aos processos produtivos, é possível também analisar os prováveis impactos em termos de custos no desenvolvimento do produto, em especial nas etapas de planejamento da produção, tanto quanto no processo produtivo em si. Resultados de estudos baseados nesses fatores demonstram que a Manufatura Aditiva, empregada para níveis de produção baixas e intermediárias, oferece o potencial de se equiparar ao método tradicional em questão de custo. Mas conforme ponderado por alguns pesquisadores, nem sempre o custo deve ser levado em consideração para o desenvolvimento e fabricação de um produto. Eles destacam a percepção de empresas que buscam uma performance superior, focando em serem melhores no atendimento ao mercado antes de serem mais baratas. Adicionando ao fato de que os ciclos de produtos se tornarem cada vez

menores, e ciclos de design estão cada vez mais acelerados, é de se vislumbrar que a Manufatura Aditiva atenda de forma mais adequada a alguns dos segmentos do mercado, independentemente do custo que isto vá acarretar.

Por outro lado, é de se levar em consideração também as constatações de autores que encontraram relação entre algumas das características da Manufatura Aditiva que atendem aos requisitos de uma metodologia de *lean thinking*, de ganho de eficiência e velocidade no atendimento ao consumidor. E é na aplicação da metodologia *lean*, combinada às técnicas de etapas enxutas de fabricação da Manufatura Aditiva, que os desenvolvedores e fabricantes podem se fazer valer de uma notável redução de processos e racionalização de custos, em benefício de uma melhor percepção de valor do bem pelo consumidor.

Seguindo para o breve panorama tecnológico da Manufatura Aditiva, descrito nas seções finais da compilação literária, serve como ponto de partida para uma observação sobre sua influência na indústria brasileira, sob as óticas da economia e de políticas públicas. A abordagem desta pesquisa foi pautada por uma visão mais tecnológica, e desta forma, a maneira mais convencional de abordar as consequências na indústria brasileira para os desenvolvimentos descritos, seria partir das competências existentes e avaliar como essas tecnologias estão sendo absorvidas e aplicadas pelas empresas. Esse enfoque conseguiu apurar parte das capacitações existentes no país, que principalmente estão locadas em grupos de P&D no meio acadêmico, e permite inferir um juízo sobre as lacunas empresariais para absorver tecnologia, a disponibilidade de recursos humanos qualificados e o que pode ser acentuado nos mecanismos de promoção da inovação tecnológica para alterar o patamar de domínio tecnológico da indústria, não só nacionalmente, mas também no âmbito regional.

A disponibilidade e aquisição de informações consolidadas ainda é carente no segmento privado de Manufatura Aditiva no Brasil. Tanto quanto foi possível apurar até o momento, essa área ainda não foi contemplada por algum tipo de associação de cunho industrial que possa exercer uma função de “inteligência de mercado” que permita à iniciativa privada colher as informações necessárias e ter o apoio técnico para implantar no mercado este novo conceito de manufatura.

TECNOLOGIA	<i>Stereo Lithography Apparatus</i> (SLA) - Estereolitografia	<i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM) - Deposição por Material Fundido	<i>Selective Laser Sintering</i> (SLS) - Sinterização por Laser Seletivo	<i>Three Dimensional Printing</i> (3DP) - Impressão Tridimensional	<i>Material Jetting</i> (MJ) - Impressão por Jato de Material	<i>Laser Engineered Net Shaping</i> (LENS™) - Modelagem a Laser de Engenharia	<i>Direct Metal Laser Sintering</i> (DMLS) – Sinterização Direta de Metal por Laser	<i>Laminated Object Modeling</i> (LOM) - Modelagem de Objeto por Laminação
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia à raio laser de alta resolução para endurecimento de resina; · Utiliza líquidos foto-polimerizáveis; · Muita qualidade no acabamento da peça e relativa rigidez estrutural; · Está se tornando acessível graças à iniciativas de desenvolvimento colaborativo. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia de deposição em camadas de material em estado plástico por bico extrusor; · Utiliza ampla gama de matérias-primas, que vai desde termoplásticos e elastômeros à alimentos e material biológico; · Qualidade no acabamento das peças e rigidez estrutural já são satisfatórios para a maioria das aplicações, sendo viável até mesmo para baixas produções; · Pela sua simplicidade é a tecnologia mais acessível e tem sido bastante evoluída graças a iniciativas de desenvolvimento colaborativo. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia à raio laser de alta potência sobre camada de material em pó; · Utiliza materiais em pó, passíveis de sinterização, em especial metais; · Acabamento da peça dependente da granulação do material em pó; · Tecnologia que requer ambiente e manipulação especializados, o que limita sua acessibilidade; · Processo quente que demanda tempo de resfriamento da peça além do tempo de manufatura. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia de jato de adesivo sobre camada de material em pó; · Utiliza materiais em pó, passíveis de sinterização em forno, desde amidos e argilas até pós de vidro, borracha, madeira e metais; · Acabamento da peça depende da granulação do material em pó; · Tecnologia relativamente simples, que não demanda sistemas de alta potência tal como as tecnologias laser; · Permite a impressão de objetos em várias cores pela adição de tinta as camadas. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia de jato de líquido foto-polimerizável; · Utiliza líquidos foto-polimerizáveis que endurecem sob luz ultravioleta; · Excelente qualidade no acabamento da peça e boa rigidez estrutural; · Tem sido muito demandada por aplicações médicas ou industriais que requerem alta resolução e rapidez de processo; · Permite a impressão de objetos em várias cores pela adição de tinta ao material no momento da aplicação. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia à raio laser de alta potência e jato de material em pó; · Utiliza materiais em pó, passíveis de sinterização, em especial metais de alta dureza como titânio e aço inox; · Boa qualidade no acabamento da peça e excelente rigidez estrutural; · Tem sido muito aplicada em produções de baixo volume de itens especializados, como por exemplo para a indústria aeroespacial. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia à raio laser de alta potência sobre camada de material em pó; · Utiliza materiais em pó, passíveis de sinterização, em especial metais de alta dureza como titânio, aço inox e ligas de níquel e alumínio; · Boa qualidade no acabamento da peça e excelente rigidez estrutural; · Tecnologia que requer ambiente e manipulação especializados, o que limita sua acessibilidade; 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia de recorte de camadas de lâminas de material por faca ou à raio laser; · Utiliza lâminas finas de materiais como papel, plástico ou metal; · Relativa qualidade de acabamento e rigidez estrutural da peça.
APLICAÇÕES PARA O DESIGN	<ul style="list-style-type: none"> · Primeira tecnologia de impressão 3D aplicada em auxílio aos processos de PDP; · É uma grande opção para o desenvolvimento de peças e protótipos feitos em diferentes resinas; · Enfrenta a concorrência de novas tecnologias capazes de imprimir com materiais de propriedades diferentes das da resina, como termoplásticos, elastômeros, entre outros. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tem se tornado a tecnologia de impressão 3D preferida no campo do <i>design</i> para materializar modelos e protótipos com características físicas mais próximas das dos produtos finais; · Reduz o tempo e os custos de prototipagem de peças a uma fração do custo de desenvolvê-las pelos processos convencionais; · Devido a sua popularidade e aceitação para aplicações domésticas, é capaz de influenciar os desenvolvedores a pensar novas formas de tornar os produtos mais customizáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> · SLS é uma tecnologia que, mesmo tendo sido concebida há varias décadas, ainda se encontra muito restrita para aplicações domésticas, devido a sua manipulação especializada; · O desenvolvedor pode com ela obter bons resultados aplicando-a ao PDP, mas deve levar em conta que sua qualidade e restrições podem deixá-la menos atraente se comparada às recentes tecnologias de sinterização por raio laser. 	<ul style="list-style-type: none"> · É uma tecnologia de impressão 3D que trás ao desenvolvedor a possibilidade de avaliar para seu produto a aplicação de materiais não tão convencionais quanto os utilizados para a industrialização, como por exemplo, as matérias-primas de origem natural; · Permite adicionar cores a matéria-prima durante o processo, e essa é uma característica que pode ser requisitada no processo de desenvolvimento, para se gerar modelos onde a análise das cores são determinantes na especificação final do produto. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia de alto desempenho, capaz de proporcionar ao <i>design</i> o suporte necessário ao desenvolvimento de produtos especializados, para aplicações que requerem precisão em escala micrométrica; · Permite adicionar cores a matéria-prima durante o processo, semelhante ao que acontece uma impressora jato de tinta convencional, e essa é uma característica que pode ser explorada pelo <i>designer</i> em aplicações onde este aspecto seja desejado. 	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologia que vem sendo aplicada com destaque na manufatura de produtos com formas e materiais que demandam um elaborado trabalho de <i>design</i>; · O <i>designer</i> pode se valer da característica que esta tecnologia possui de materialização nos três eixos cartesianos para a criação das formas, pois este sistema não gera tantas restrições na colocação de suportes para a peça como as demais tecnologias que trabalham baseadas em planos. 	<ul style="list-style-type: none"> · Uma das tecnologias de alto desempenho que apresenta bons resultados no <i>design</i> de peças metálicas de alta resistência, o que muitas vezes acaba compensando ao desenvolvedor as suas restrições de acesso, se comparada com as técnicas convencionais de se trabalhar com metais de engenharia; · A técnica de DMLS aplicada ao desenvolvimento de produto oferece uma boa flexibilidade de formas e garante confiabilidade, tornando esta tecnologia uma boa opção para a confecção de peças especiais. 	<ul style="list-style-type: none"> · É uma tecnologia de impressão 3D de concepção diferente das abordadas nas outras tecnologias, a qual pode apresentar alguns pontos de desvantagem quando o <i>designer</i> desejar levar em consideração, como por exemplo, a robustez e a economia de material para seu PDP; · As propriedades da peça construída por esta tecnologia ficam sujeitas ao posicionamento e direção das camadas, criando assim restrições físicas, principalmente estruturais na aplicação desta peça para determinados usos.

Quadro 2 – Resumo das tecnologias 3D de Manufatura Aditiva e suas aplicações para o *design*

Fonte: Do autor.

6 CONCLUSÃO

Por se tratar de uma tecnologia que recentemente tem se destacado no cenário das inovações e gerado muita expectativa em relação a sua capacidade e possibilidade de aplicação, a Manufatura Aditiva se tornou o objeto desta pesquisa, motivada pela aparente disparidade na velocidade com que vem se registrando a evolução e aplicação dessa tecnologia no país e no exterior. A proposta de uma pesquisa bibliográfica sobre a evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva, não só pelo âmbito da aplicação em prototipagem rápida, mas que também pudesse servir de base para estudos do próximo passo da evolução dessa tecnologia, propôs dar algum embasamento para que se possa estimar qual seria o impacto da aplicação desta tecnologia, em especial sobre os processos de desenvolvimento de produto, o que modifica a concepção de produtos nacionais e as relações de mercados existentes na manufatura industrial convencional.

Tendo definido uma problemática sobre o tema, um modelo de análise foi idealizado, buscando relacionar algumas linhas de consulta de dados que foram consideradas relevantes para a pesquisa. Estas consultas foram ordenadas a formar um roteiro de interligação e seqüência de evolução entre os tópicos relacionados à Manufatura Aditiva. No gráfico 1 é representado este roteiro de tópicos, o qual ordenou as pesquisas desde a caracterização da tecnologia e seu histórico até o panorama da aplicação da Manufatura Aditiva no Brasil. O campo de coleta de dados foi escolhido pela preferência a referências teóricas já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos e páginas de *web sites* sobre o assunto. O método de pesquisa por palavras-chave foi adotado e se mostrou efetivo em retornar vasto material a respeito dos vários desdobramentos que o tema da Manufatura Aditiva vem atingindo ao redor do mundo. Durante a coleta de dados em periódicos, fontes bibliográficas foram sendo descobertas e consideradas para referenciar a pesquisa.

A sessão mais técnica do desenvolvimento da pesquisa foi compilada a partir das informações das características de oito dos sistemas de impressão tridimensionais da evolução da tecnologia de Manufatura Aditiva no mundo. Estas informações permitiram a elaboração do Quadro 2, constante na Discussão deste trabalho, que além de resumir os pontos de destaque de cada uma destas

tecnologias, apresenta algumas das vantagens de cada uma que puderam ser percebidas, quando consideradas para serem aplicadas em auxílio ao Processo de Desenvolvimento de Produto. Este quadro resumo permite a apreciação e comparação das tecnologias que podem eventualmente ser aplicadas ao desenvolvimento de produtos nacionais.

A realização da pesquisa bibliográfica se deu pelo interesse em lançar luz a algumas das hipóteses que permeiam uma tecnologia com características tão inovadoras quanto a Manufatura Aditiva e suas técnicas de impressão 3D. A tendência declarada por buscar dados que pudessem ter relevância para o campo do Desenvolvimento de Produto fez com que as informações fossem angariadas de um ponto de vista que permitissem alguma referência ao juízo de um desenvolvedor sobre o valor que a Manufatura Aditiva deve receber ao ser considerada em sua aplicação mercadológica e ao mesmo tempo como agente influente do Processo de Desenvolvimento de Produto.

A Manufatura Aditiva é uma tecnologia profundamente estudada mundo a fora e cada vez mais tem recebido investimentos para se tornar uma base mantenedora da hegemonia de mercado dos países líderes em tecnologia e manufatura. Orientando essa constatação para o viés do PDP, novas abordagens podem ser pensadas e trazidas para os métodos de *design*, e estes podem ser revistos para representar as novas formas de projeto, tão como as novas possibilidades de atuação do desenvolvedor. O profissional deve buscar conhecer a fundo o funcionamento e recursos que as técnicas de Manufatura Aditiva oferecem, com a finalidade de aplicá-las efetivamente em produtos desenvolvidos sobre a ótica de um novo modelo de negócios que atenderá melhor ao consumidor.

Considerando a hipótese de que as aplicações mercadológicas da Manufatura Aditiva no Brasil ainda estão em um patamar incipiente, e que ainda muito pouco é registrado a respeito da sua implantação pelo mercado, em substituição à manufatura convencional, a pesquisa permitiu a ciência de que há uma percepção de que a Manufatura Aditiva é uma tecnologia habilitadora de muitas das competências que o governo brasileiro atenta, como sendo de vital importância para o desenvolvimento e o reconhecimento da nação como uma referência na aplicação da Manufatura Aditiva na região da América Latina. É satisfatório conhecer que as pesquisas e desenvolvimentos acadêmicos nacionais tem evoluído, ainda em

um cenário de limitação de incentivos e de dificuldade em se firmar parcerias privadas ou mesmo internacionais.

Por fim, diante da compilação de informações finalizada, a percepção é de que a Manufatura Aditiva é uma das tecnologias que caminha para se estabelecer definitivamente e alterar o cotidiano dos consumidores. Para tanto, é possível verificar que não só as relações mercadológicas deverão ser alteradas, mas também é viável afirmar que elas serão consequência direta das novas abordagens que a Manufatura Aditiva trará ao *design* quando aplicadas extensivamente ao Processo de Desenvolvimento de Produto.

6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Os conhecimentos obtidos através do desenvolvimento desta pesquisa bibliográfica podem ser consideravelmente ampliados, por exemplo, através de novos trabalhos de prospecção de informações originárias do mercado manufatureiro brasileiro, de forma a possibilitar mensurar e estudar casos de aplicação da Manufatura Aditiva no cenário atual. A busca por maior quantidade de material informativo viabilizaria diversos estudos adicionais, que embasariam a aplicação da Manufatura Aditiva sob o viés de aprimorar e reduzir os custos do PDP e da manufatura em si, além de identificar com melhor precisão as condições ideais para sua aplicação no mercado nacional.

A seguir, são submetidas algumas propostas para trabalhos futuros, com o objetivo de promover a ampliação do conhecimento sobre o tema:

- Pesquisar em campo o conhecimento das técnicas de Manufatura Aditiva que as empresas de manufatura e desenvolvedores de produto nacionais possuem a respeito e quais aplicações estes percebem ou esperam dar a esta tecnologia dentro do mercado brasileiro.
- Realizar uma pesquisa para buscar compreender o quanto da P&D em Manufatura Aditiva realizada atualmente no Brasil é motivada ou está alinhada com as perspectivas do setor industrial brasileiro.

- Pesquisar dentro do mercado nacional quais os nichos de consumidores que a adoção da Manufatura Aditiva tem atendido e quais têm probabilidade de serem no futuro.
- Realizar um levantamento em termos de valores, quais os resultados que estão sendo obtidos pelas empresas que tem aplicado as tecnologias de Manufatura Aditiva em seus processos de PDP e manufatura.
- Pesquisar os efeitos da P&D brasileira da Manufatura Aditiva sobre o mercado nacional e levantar se este percebe resultados que modificam as relações entre as cadeias da manufatura industrial nacional.
- Pesquisar os efeitos da P&D brasileira da Manufatura Aditiva sobre os mercados da região latino americana e levantar se estes percebem resultados que modificam as relações entre as cadeias da manufatura industrial das nações que compartilham desta tecnologia.

REFERÊNCIAS

BEAL, Valter E.. **Fabricação de gradientes funcionais entre aço ferramenta e cobre por fusão seletiva a laser usando um feixe de laser pulsado Nd:YAG de alta potência para aplicação em moldes de injeção**. 2005. 232 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, UFSC, 2005.

BOURELL, David L.. et al. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. **RapidTech 2009: US-TURKEY Workshop on Rapid Technologies**, Istanbul, 24 setembro 2009. 7. Disponível em: <<https://iweb.tntech.edu/rrpl/rapidtech2009/bourell.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2015.

BUENO, André. **Contribuições ao desenvolvimento de produtos sob medida utilizando engenharia reversa e Manufatura Aditiva**. 2012. 157 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, UFSC, 2012.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, 2016. Disponível em:<<https://www.cgee.org.br/>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Integração Latinoamericana: Parcerias Estratégicas em CT&I**. 2013. 154 f. Relatório Final, Brasília, 2013. Disponível em:<<https://www.cgee.org.br/>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

CIRAUD, Pierre A..Process and Device for the Manufacture of any Objects Desired from any Melttable Material, FRG, **Disclosure Publication 2263777**, 1972.

COSTA, Ricardo S.; JARDIM, Eduardo G. M.. Os cinco passos do pensamento enxuto net, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.trilhaprojetos.com.br>>. Acesso em: 23 jul. 2016

COTTELEER, Mark J.. 3D Opportunity for Production - Additive Manufacturing makes its (business) case. **Deloitte University Press**, Reino Unido, 2014. Disponível em:<<http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-business-case/>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

CRUMP, S. Scott. Apparatus and method for creating three-dimensional objects. **USPTO**, USA, 30 out. 1989.

CTI. Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer. Bioimpressão de Órgãos Humanos ("Bioprinting"), Campinas, 2014. Disponível em: <<http://www.cti.gov.br/eventos/60-tecnologias-tridimensionais/751-bioimpressao-de-orgaos-humanos-bioprinting-dt3d/>>. Acesso em: 07 ago. 2016.

CUSTOMPARTNET. Processes, USA, 2009. Disponível em: <<http://www.custompartnet.com/>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

DERBY, Brian. Additive Manufacture of Ceramics Components by Inkjet Printing. Engineering Sciences Press, China, v. 1, n. 1, p. 113-123. ISSN: 2095-8099.

DIMITROV, Dimitri; SCHREVE, Kristian; DE BEER, Neal. Advances in three dimensional printing – state of the art and future perspectives. **Rapid Prototyping Journal**, Stellenbosch, v. 12, n. 3, p. 136-147, 2006. ISSN: 1355-2546.

FRANKE, Nikolaus; VON HIPPEL, Eric. Satisfying Heterogeneous User Needs via Innovation Toolkits: The Case of Apache Security Software. **Research Policy**, Amsterdam, v. 32, n. 7 p.1199-1215, 2003. ISSN: 0048-7333.

FABTOTUM S.R.L.. Multipurpose Desktop Personal Fabrication, Itália, 2016. Disponível em: <<http://www.fabtotum.com/3d-printers/>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

GARTNER. Hype Cycle for Emerging Technologies, USA, 2012. Disponível em: <<https://www.gartner.com/doc/2100915/hype-cycle-emerging-technologies/>>. Acesso em: 6 ago. 2016.

GRYLLS, Richard. Laser Engineered Net Shaping LENSTM Phase II, 2006 CTMA Symposium Presentations, Williamsburg, mar. 2006. Disponível em: <<https://www.ncms.org/index.php/2006/12/2006-ctma-symposium/>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

HOFMEISTER, William. et al. Investigating Solidification with the Laser-Engineered Net Shaping (LENSTM) Process. **JOM – The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society**, USA, v. 51 , n. 7, 9 p. , jun. 1999. ISSN: 1047-4838.

INGGO. Laminated Object Manufacturing, Alemanha, 2016. Disponível em: <<http://inggo.com/teachnet/24-Laminated-Object-Manufacturing.html?pageID=3232&ID=1069&linkOrdner=1/>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

JAVELIN. Advanced Digital Manufacturing, Canadá, 2016. Disponível em: <<http://www.javelin-tech.com/3d-printer/stratasys-printers/fortus-450mc/>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

KODAMA, Hideo. Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo Hardening Polymer. **Review of Scientific Instruments**, USA, v. 52, n. 11, p.1770-73, 1981. ISSN: 0034-6748.

KOTEN, John. A Revolution in the Making: Digital technology is transforming manufacturing, making it leaner and smarter—and raising the prospect of an American industrial revival. *The Wall Street Journal*, USA, jun. 2013. Disponível em: <<http://www.wsj.com/articles/SB10001424127887324063304578522812684722382>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

LIPSON, Hod; KURMAN, Melba. **Fabricated: The New World of 3D Printing**. Indianápolis: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

LOURAL, Claudio de A.. Um Panorama de Novas Tecnologias e Seus Impactos na Indústria, Seminário NEIT - UNICAMP, Campinas, set. 2014. Disponível em: <https://www3.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/Novas_tecnologias_e_seu_impacto_na_industria_-_v140626.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2016.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.mcti.gov.br/>>. Acesso em: 31 jul. 2016.

MIT. Massachusetts Institute of Technology - 3DPTM Laboratory, USA, 1999. Disponível em: <<http://web.mit.edu/~tdp/www/>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

MONTEIRO, Marco T. F.. **A IMPRESSÃO 3D NO MEIO PRODUTIVO E O DESIGN: um estudo na fabricação de jóias**. 2015. 129 f. Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Design, Belo Horizonte, UFMG, 2015.

MUDGE, Robert; WALD, Nicholas. Laser Engineered Net Shaping Advances Additive Manufacturing and Repair. **Welding Journal**, USA, v.86, n.1, p. 44-48, jan. 2007. INSS: 0043-2296.

RAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting & Social Change**, Amsterdam, v.102, n. 1, p. 214-224, jan. 2016.

SHIPP, Stephanie S. et al. Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing. **Institute for Defense Analyses**, Virginia, IDA Paper P-4603, mar. 2012. Disponível em: <<https://www.ida.org/en/STPI/ExploreSTPIResearch/STPIPublications.aspx>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

SILVA, Caio P. de A.; VALES, Marcos D.. **Planejamento e Controle da Produção com Manufatura Aditiva à luz da metodologia Lean**. 2015. 75 f. Projeto de graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, UFRJ/Escola Politécnica, 2015.

SILVA, Luciano S. da; SOUZA, José de; SCHAEFFER, Lírio. Prototipagem de Peças em Pó Metálico. **RenoMat - Conferência Internacional de Materiais e Processos para Energias Renováveis**, Porto Alegre, out. 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/274780224_PROTOTIPAGEM_DE_PECAS_EM_PO_METALICO/>. Acesso em: 02 jul. 2016.

STRATASYS. Laser Sintering, USA, 2016. Disponível em: <<https://www.stratasysdirect.com/solutions/laser-sintering/>>. Acesso em: 04 dez. 2016.

STRATASYS. Production Series, USA, 2016. Disponível em: <<http://www.stratasys.com/3d-printers/production-series/fortus-380-450mc>>. Acesso em: 19 jun. 2016.

SWAINSON, Wyn K. Method, medium and apparatus for producing three-dimensional figure product, **USPTO**, USA, 23 jul. 1971.

TAKAGAKI, Luiz K. CAPÍTULO 3. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28 - 40, dez. 2012. ISSN 21792895. 129.

USPTO. United States Patent and Trademark Office, USA, 2015. Disponível em: <<http://www.uspto.gov/>>. Acesso em: 09 jan. 2016.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

VOLPATO, Neri; COSTA, Carlos A.. Competências e Recursos da Rede de Manufatura Aditiva (RMA) no Brasil. **7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, Rio de Janeiro, mai. 2013. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/siteCOBEF2013/anais/PDFS/COBEF2013-0287.PDF/>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

WINTERSTEIN, Mario. O impacto da impressão 3D na manufatura. Blog NEI, São Paulo, nov. 2014. Disponível em: <<http://blog.nei.com.br/index.php/2014/11/27/o-impacto-da-impressao-3d-na-manufatura/>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

GLOSSÁRIO

Anisotropia – Representa os comportamentos direcionalmente dependentes, o que implica diferentes propriedades em diferentes direções. Ela pode ser definida quando em uma medição, ao longo de diferentes eixos, apresenta uma diferença nas propriedades físicas e mecânicas de um material (absorbância , índice de refração ,condutividade , resistência à tração , etc.).

Bioimpressão – Uma ramificação da biofabricação, consiste da aplicação da prototipagem rápida para a fabricação aditiva e automatizada de tecidos e órgãos humanos, baseada na estruturação por blocos de construção conhecidos como esferóides teciduais. Esferóides contendo células vivas sofrerão um processo de fusão natural. O tecido/órgão recém-fabricado será levado a um biorreator que deverá prover as condições necessárias para a maturação do novo órgão antes de ser implantado no paciente.

Biomodelos – Réplicas exatas de partes do corpo humano que podem ser geradas por meio de tecnologias de impressão 3D. Os biomodelos permitem a mensuração de estruturas, a simulação de procedimentos cirúrgicos e técnicas de ressecção, além da produção de moldes para construção de próteses personalizadas de alto desempenho anatômico.

Engenharia Reversa – O processo de engenharia reversa (ER) consiste na digitalização da geometria de um determinado objeto, geralmente feita através de escâner de luz que captura imagens do objeto e as interpreta para gerar dados a partir de um conjunto de pontos no espaço tridimensional (3D), que serão utilizados na construção da forma digital.

Gradientes Funcionais – O desenvolvimento de novos produtos envolve novos materiais, processos e metodologias de projetos. Com relação a novos materiais, a otimização de forma e função em um único componente pode ser obtida por *Functionally Graded Materials* (FGM) ou materiais com gradientes funcionais. Assim como em materiais compósitos, o emprego de FGMs explora obter com o uso de

dois ou mais materiais, funções diferenciadas que produzam um componente final otimizado. Por exemplo: materiais rígidos, mas leves ou duros e condutores de calor. No entanto, genericamente, FGMs possuem como diferença uma gradual transição entre cada um dos elementos que formam o componente, em oposição a transição bem definida entre os materiais compósitos.

Movimento *Maker* – O Movimento Maker é uma extensão da cultura Faça-Você-Mesmo ou, em inglês, Do-It-Yourself (DIY). Esta cultura moderna tem em sua base a idéia de que pessoas comuns podem construir, consertar, modificar e fabricar os mais diversos tipos de objetos e projetos com suas próprias mãos.

Materiais Elastoméricos – Mais conhecidos como elastômeros, são tipos de polímeros que apresentam propriedades elásticas, obtidas depois da reticulação. Ao serem comparados com a borracha, que ao ser esticada até o dobro de seu comprimento e segurada por 1 minuto, fica com cerca de 1,5 vezes seu comprimento original após ser solta, nos elastômeros a recuperação do comprimento seria mais próxima do original. Quando comparados com outros materiais de engenharia, os elastômeros são caracterizados pela grande deformabilidade, baixíssima rigidez e grande capacidade de armazenamento de energia. Certos materiais elastoméricos possuem características específicas como resistência a químicos corrosivos, resistência a óleo, ao ozônio, à temperatura e outras condições de ambiente.

Materiais Poliméricos – São os materiais compostos de moléculas muito grandes constituídas pela repetição de pequenas e simples unidades químicas, denominadas monômeros. A polimerização é uma reação que ocorre na natureza e em grande parte artificialmente pelas aplicações comerciais que se valem de suas importantes características mecânicas. Os monômeros se combinam quimicamente (por valências principais) para formar moléculas longas, mais ou menos ramificadas com a mesma composição centesimal. A polimerização pode ser reversível ou não e pode ser espontânea ou provocada (por calor ou reagentes).

Materiais Termoplásticos – São os chamados plásticos, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais. A principal característica desses polímeros é poder ser

fundido diversas vezes. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes, logo, a sua reciclagem é possível e desejável. As propriedades mecânicas variam conforme o tipo de plástico: sob temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis.

Sinterização – Também conhecida como metalurgia do pó, é um processo de fundição que não derrete completamente o pó metálico, trabalhando com temperaturas que variam entre 50 a 100% da temperatura de fusão. O pó metálico é aquecido somente até o ponto em que aconteça uma ligação pelo contato entre as partículas adjacentes, ou seja, o pó se une por uma fundição de nível molecular. Este método permite a utilização de uma grande variedade de ligas metálicas e também permite um controle sobre a porosidade final do material.

Trade-off – É uma expressão do inglês que define uma situação em que há conflito de escolha. Se caracteriza em uma ação econômica que visa à resolução de um problema mas acarreta outro, obrigando uma escolha. Ocorre quando se abre mão de algum bem ou serviço distinto para se obter outro bem ou serviço distinto. *Trade-off* pode ser traduzido livremente como "relação de compromisso" ou "perde-e-ganha". O termo se refere, geralmente, a perder uma qualidade ou aspecto de algo, ganhando em troca outra qualidade ou aspecto. Isso implica que a tomada de uma decisão requer completa compreensão tanto do lado bom, quanto do lado ruim de uma escolha em particular.

