

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANDREY SARTORI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA MANUFATURA ADITIVA NA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Porto Alegre
2019

ANDREY SARTORI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA MANUFATURA ADITIVA NA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Profissional, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Porto Alegre
2019

ANDREY SARTORI

**ANÁLISE DOS EFEITOS DA MANUFATURA ADITIVA NA CADEIA
DE SUPRIMENTOS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Profissional e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador Ricardo A. Cassel e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Professor Ph. D. Ricardo Augusto Cassel
Coordenador PMPEP/UFRGS

Aprovado em ____/____/____

Banca Examinadora:

Professor Michel José Anzanello, Ph.D.
Professor Néstor Fabián Ayala, Dr.
Professor Victor Gomes, Dr. Eng.

Epígrafe
"Treine enquanto eles dormem, estude enquanto eles se divertem, persista enquanto eles descansam, e, então, viva o que eles sonham." (Provérbio Japonês).

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento imensurável ao Grande Arquiteto do Universo. À minha filha Sofia S. Sartori pela compreensão nos momentos de ausência como pai pela dedicação aos estudos. Aos todos os meus professores incentivadores do estudo continuado, transmissores de sabedoria, confiança e persistência, em especial ao meu Orientador Prof. Ricardo A. Cassel pela paciência, presteza e ensinamentos transmitidos em todos os momentos de orientação. Aos meus amigos Moisés, Rubens, Tatiane e Juarez que se fizeram presentes nos momentos de trabalhos acadêmicos como um grupo forte e decidido.

RESUMO

SARTORI, A. **Análise dos efeitos da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Estudos sobre a Cadeia de Suprimentos promovem importantes ganhos de competitividade nas empresas. Nesse sentido, o surgimento de novas tecnologias desperta a atenção de organizações que buscam reduzir seus desperdícios e agilizar as demandas dos clientes, cada vez mais exigentes. A questão é quando essa tecnologia se torna acessível a todos, criando novos negócios ou novas maneiras de se atender demandas que antes eram realizadas por uma cadeia convencional. A Manufatura Aditiva tem se destacado como uma tecnologia capaz de trazer benefícios na Cadeia de Suprimentos, do nível estratégico ao operacional. Mesmo que atualmente essa tecnologia esteja mais presente, junto ao consumidor final, ou nas mesas de escritórios de arquitetura para prototipagem, pesquisas com diversos tipos de matérias primas, entre elas o metal, indicam uma tendência de que essa tecnologia pode melhorar de forma significativa os processos produtivos industriais, principalmente a produção de produtos em pequena escala. É relevante destacar como essa tecnologia pode interagir com cada agente de uma Cadeia de Suprimentos, de forma a gerar mudanças e transformações organizacionais, uma vez que a Impressão 3D, segundo os especialistas, já está trazendo uma evolução na forma de como alguns produtos são produzidos, armazenados e distribuídos. Dentro desse contexto, esta dissertação tem como objetivo investigar como a Manufatura Aditiva pode causar mudanças e transformações na Cadeia de Suprimentos buscando encontrar quais os benefícios e pontos de ruptura podem surgir ao longo dos elos produtivos até chegar ao cliente final. O trabalho foi dividido em três etapas. Inicia-se com uma pesquisa bibliográfica envolvendo os três temas do trabalho: Manufatura, Manufatura Aditiva e Cadeia de Suprimentos. Esta etapa contou com a revisão dos principais conceitos sobre Manufatura e Logística, e sua evolução ao longo do tempo. A segunda etapa foi caracterizada pela pesquisa de campo, utilizando a ferramenta Delphi para coleta de opiniões de especialistas selecionados, sobre construtos elaborados, conforme se seguia a leitura dos materiais pesquisados. Por fim, a última etapa foi marcada pela análise estatística desses dados. Os 33 construtos selecionados e validados por especialistas foram divididos em dimensões e interpretados, utilizando o método de previsão de cenários futuros, com base nas respostas dos entrevistados. Após realização de três rodadas, todos os construtos foram interpretados pelos especialistas como prováveis futuros cenários a se concretizarem.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Cadeia de Suprimentos. Método Delphi.

ABSTRACT

SARTORI, A. Analysis of the effects of Additive Manufacturing in the Supply Chain.
MSc Dissertation. Postgraduate Program Professional Master's Degree in Production
Engineering. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Supply chain studies promote important competitive gains in companies. In this sense, the emergence of new technologies awakens the attention of organizations that seek to reduce their waste and accelerate the demands of increasingly demanding customers. The point is when this technology becomes accessible to everyone, creating new business or new ways of meeting demands that were once carried out by a conventional chain. Additive Manufacturing has emerged as a technology that can bring benefits in the Supply Chain from strategic to operational. Even though this technology is more present today, with the final consumer, or in architectural office desks for prototyping, research with different types of raw materials, among them metal, indicates a tendency that this technology can significantly improve the industrial production processes, mainly the production of small-scale products. It is important to highlight how this technology can interact with each agent of a Supply Chain in order to generate changes and organizational transformations, since 3D Printing, according to experts, is already bringing an evolution in the way some products are produced, stored and distributed. Within this context, this dissertation aims to investigate how the Additive Manufacturing can cause changes and transformations in the Supply Chain in order to find out what the benefits and points of disruption can arise along the productive links until reaching the end customer. The work was divided into three stages. It begins with a bibliographical research involving the three themes of the work: Manufacturing, Additive Manufacturing and Supply Chain. This stage included a review of the main concepts of Manufacturing and Logistics, and their evolution over time. The second stage was characterized by the field research, using the Delphi tool to collect opinions from selected experts, on elaborate constructs, according to the reading of the researched materials. Finally, the last step was marked by the statistical analysis of these data. The 33 constructs selected and validated by specialists were divided into dimensions and interpreted using the predictive model of future scenarios, based on respondents' answers. After completing three rounds, all the constructs were interpreted by the experts as probable future scenarios to be realized.

Keywords: Additive Manufacturing. Supply Chain. Delphi Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização do trabalho	22
Figura 2 - Etapas que compõem o método indutivo.....	24
Figura 3 - Etapas para alcançar objetivos de forma científica.....	27
Figura 4 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção	31
Figura 5 - Processo de uso da Impressão 3D.....	51
Figura 6 - Visão de uma Gestão da Cadeia de Suprimento e seus fluxos	64
Figura 7 – Arquivo STL disponível para toda Cadeia de Suprimentos.....	129
Figura 8 - Nova arquitetura: Cadeia Aditiva de Suprimentos	129
Figura 9 - Nível de utilização da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Áreas que já estão se beneficiando da Manufatura Aditiva	17
Quadro 2 - Justificativas para o uso da Manufatura Aditiva	20
Quadro 3 - Comparação das abordagens quantitativas e qualitativas	25
Quadro 4 - Lista de palavras-chave para pesquisa na internet	28
Quadro 5 - Listagem de livros consultados sobre Manufatura Aditiva.....	30
Quadro 6 - Evolução da Manufatura	37
Quadro 7 - Os nove pilares da Manufatura Avançada.....	42
Quadro 8 - Principais processos de Manufatura Aditiva.....	53
Quadro 9 - Evolução do foco da Logística	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - 12 Principais pontos de inflexão esperados até 2025	42
Tabela 2 - Tecnologias de Manufatura Avançada no Brasil	48
Tabela 3 - Benefícios esperados ao adotar tecnologias digitais	48
Tabela 4 - Uso das tecnologias digitais	49
Tabela 5 - Perfil dos Validadores	79
Tabela 6 - Informações estatísticas da validação do conteúdo	80
Tabela 7 - Construtos e seus percentuais de CV	86

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frequência que o termo <i>3D Printing</i> aparece em livros publicados.....	29
Gráfico 2 - Frequência que o termo <i>Advanced Manufacturing</i> aparece em livros.....	29
Gráfico 3 - Construtos que apresentaram consenso na 1ª rodada.....	83
Gráfico 4 - Comparação dos construtos que atingiram o consenso na 1ª e na 2ª Rodada.....	84
Gráfico 5 - Construtos que alcançaram o CV na 3º rodada.....	85
Gráfico 6 - Histograma das respostas do construto 1.....	87
Gráfico 7 - Histograma das respostas do construto 2.....	89
Gráfico 8 - Histograma das respostas do construto 3.....	91
Gráfico 9 - Histograma das respostas do construto 4.....	92
Gráfico 10 - Histograma das respostas do construto 5.....	93
Gráfico 11 - Histograma das respostas do construto 6.....	94
Gráfico 12 - Histograma das respostas do construto 7.....	95
Gráfico 13 - Histograma das respostas do construto 8.....	96
Gráfico 14 - Histograma das respostas do construto 9.....	97
Gráfico 15 - Histograma das respostas do construto 10.....	98
Gráfico 16 - Histograma das respostas do construto 11.....	99
Gráfico 17 - Histograma das respostas do construto 12.....	100
Gráfico 18 - Histograma das respostas do construto 13.....	101
Gráfico 19 - Histograma das respostas do construto 14.....	102
Gráfico 20 - Histograma das respostas do construto 15.....	103
Gráfico 21 - Histograma das respostas do construto 16.....	104
Gráfico 22 - Histograma das respostas do construto 17.....	105
Gráfico 23 - Histograma das respostas do construto 18.....	106
Gráfico 24 - Histograma das respostas do construto 19.....	107
Gráfico 25 - Histograma das respostas do construto 20.....	108
Gráfico 26 - Histograma das respostas do construto 21.....	110
Gráfico 27 - Histograma das respostas do construto 22.....	111
Gráfico 28 - Histograma das respostas do construto 23.....	112
Gráfico 29 - Histograma das respostas do construto 24.....	113
Gráfico 30 - Histograma das respostas do construto 25.....	115
Gráfico 31 - Histograma das respostas do construto 26.....	116
Gráfico 32 - Histograma das respostas do construto 27.....	117
Gráfico 33 - Histograma das respostas do construto 28.....	118
Gráfico 34 - Histograma das respostas do construto 29.....	119
Gráfico 35 - Histograma das respostas do construto 30.....	120
Gráfico 36 - Histograma das respostas do construto 31.....	122
Gráfico 37 - Histograma das respostas do construto 32.....	123
Gráfico 38 - Histograma das respostas do construto 33.....	124

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	14
1.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	18
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	24
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	25
2.2 MÉTODO DO TRABALHO	26
2.2.1 Etapas do trabalho	26
2.2.2 Método Delphi	33
2.2.3 Validação dos construtos para aplicação no método Delphi.....	34
2.2.4 Conceito de consenso e estabilidade no método Delphi.....	34
2.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	35
CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA SOBRE MANUFATURA E MANUFATURA ADITIVA.....	36
3.1 MANUFATURA	36
3.2 MANUFATURA AVANÇADA E A INDÚSTRIA 4.0	39
3.2.1 Manufatura Avançada na Europa	43
3.2.2 Manufatura Avançada nos Estados Unidos	44
3.2.3 Manufatura Avançada na Ásia	45
3.2.4 Manufatura Avançada no Brasil.....	45
3.3 MANUFATURA ADITIVA	50
3.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA.....	53
3.4.1 Processo de estereolitografia (SL)	54
3.4.2 Processo de jato de tinta (IJP).....	55
3.4.3 Processo de modelagem por fusão e deposição (FDM).....	55
3.4.4 Processos à base de sólido laminado (LOM)	56
3.4.5 Processo de sintetização seletiva a laser (SLS).....	56
3.4.6 Processo de Impressão tridimensional (3DP).....	58
CAPÍTULO 4 – REVISÃO DA LITERATURA DA MANUF. ADITIVA NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	60
4.1 LOGÍSTICA.....	60
4.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	63
4.3 REDE DE SUPRIMENTOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO	65
4.4 USO DA MANUFATURA ADITIVA NAS DIVERSAS ÁREAS	67
4.5 IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS DA MANUF. ADITIVA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	70
CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS CONSTRUTOS	74

5.1	ESCOLHA E APRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES E DOS CONSTRUTOS	74
5.2	VALIDAÇÃO DO CONTEÚDO DOS CONSTRUTOS	78
CAPÍTULO 6 – CONSENSO, RESULTADOS E ANÁLISES DOS CONSTRUTOS		82
6.1	CONSENSO E ESTABILIDADE DAS RESPOSTAS	82
6.2	ANÁLISE INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS	86
CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....		125
7.1	ANÁLISE DA PESQUISA DELPHI JUNTO À CADEIA DE SUPRIMENTOS	125
7.2	CENÁRIOS FUTUROS PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS	128
7.3	BARREIRAS LEGAIS QUE PODEM DIFICULTAR O AVANÇO DA MANUF. ADITIVA	133
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO		135
8.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
8.2	POTENCIAIS PESQUISAS FUTURAS	137
REFERÊNCIAS		139
APÊNDICE A – FONTE E DESCRIÇÃO DOS CONSTRUTOS CRIADOS		150
APÊNDICE B – RESUMO DO PERFIL DOS ENTREVISTADOS NA PESQUISA.....		154
APÊNDICE C – RESULTADO DO CVC DE CADA CONSTRUTO		157

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A intensificação da concorrência e o aumento da complexidade na fabricação de produtos exigem que as organizações estabeleçam processos contínuos de investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação, para melhoria da produtividade. Observa-se o surgimento de novas tecnologias e novos processos manufatureiros de fabricação, orientados pela Manufatura Avançada, com intuito de atender as novas necessidades impostas pelo mercado. Aderir a essas tecnologias tem sido um diferencial para que as empresas permaneçam em atividade nos diversos setores da economia.

O momento tecnológico destaca a Manufatura Avançada como uma das áreas com capacidade de realizar transformações significativas dentro das Cadeias de Suprimentos. A combinação de aspectos como avanço contínuo da capacidade dos computadores, Manufatura Aditiva, Big Data, Internet das coisas (IOT); troca de informações entre usuário e máquina; a digitalização de informação e seu acesso de nível macro, e das novas estratégias de inovação impulsionadas pela integração dessas tecnologias fazem da Manufatura Avançada um conjunto de conhecimentos direcionadores de ações.

Diante das novas demandas do mercado e de uma necessidade de reposicionamento da produção, alinhados com surgimento de tecnologias disruptivas da Manufatura Avançada, destaca-se a Manufatura Aditiva, ou como também é conhecida, a Impressão 3D. A ideia de transformar um arquivo digital em objeto físico, isto é, do computador direto para fabricação final é uma realidade cada vez mais acessível para empresas e usuários particulares. Estudos demonstram que a Impressão 3D, em algumas áreas específicas, como desenvolvimento de produtos ou a fabricação de peças com *design* complexo, e em baixa escala, já está superando as limitações da manufatura convencional ajudando a reduzir custos de produção como moldes ou ferramentas e até gerando novos negócios (VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016).

A Manufatura Aditiva se apresenta como uma das tecnologias facilitadoras no desenvolvimento de novos produtos e/ou uma nova maneira de produzi-los. Esses novos processos de fabricação reduzem o tempo de espera por uma peça ou equipamento de maneira considerável, ao se comparar com os modelos atuais. De um lado existem empresas que podem se beneficiar da Manufatura Aditiva reduzindo custos e o *lead time* de entrega, por outro, existem empresas cuja existência se deve à fabricação de peças e produtos pelo método convencional de produção.

O desempenho da Impressão 3D não está limitado apenas à manufatura com a Impressão de protótipos, peças, equipamentos e produtos funcionais comercializáveis. As estruturas das Cadeias de Suprimentos de empresas também estão se beneficiando e se remodelando com a redução de estoques e prazos de entrega para clientes, trazendo mudanças nos processos de armazenamento, produção e distribuição de produtos. No entanto, o entendimento de como isso pode acontecer ou impactar ainda não é referenciado de forma clara na literatura e carece de maiores estudos (VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016).

O interesse crescente pela tecnologia de Impressão 3D e as melhorias nos processos produtivos estão modificando as Cadeias de Suprimentos. Esse movimento ainda é pouco percebido, no entanto não pode deixar de ser observado e estudado. Assim como os aplicativos de mobilidade estão impactando na logística de transporte urbano, nos táxis e até nos fretes, a Manufatura Aditiva tem o potencial de impactar nas Cadeias de Suprimentos, como, por exemplo, na redução de movimentação de produtos ou até na redução da fabricação convencional de outros, uma vez que o usuário de posse de uma impressora 3D poderá fabricar o produto desejado.

Grandes áreas de estudo, como a Cadeia de Suprimentos e a Tecnologia da Informação, podem sofrer alterações de maneira rápida, isso porque essas áreas estão interligadas e cada vez mais interdependentes para existirem. Nesse sentido, uma evolução tecnológica como da Impressão 3D pode modificar a maneira como a Gestão da Cadeia de Suprimentos é feita, forçando as empresas a se adaptarem às necessidades dos clientes.

Todas as tecnologias que envolvem uma Cadeia de Suprimentos são importantes para estabelecer estratégias organizacionais. Os sistemas que antes eram orientados para a indústria, agora estão direcionados para o mercado consumidor, sendo a Gestão da Cadeia de Suprimentos a responsável por manter a eficiência produtiva e satisfazer as necessidades

desses consumidores. A fim de melhorar suas atividades e atender as demandas de forma mais eficaz, os gestores de Cadeias de Suprimentos estão sempre em busca de tecnologias que possam aumentar a integração entre seus agentes e, assim, obter vantagens competitivas.

À medida que as empresas estabelecem novas estratégias para o uso da tecnologia de Impressão 3D, faz-se necessário o entendimento e uma reflexão das influências e possíveis consequências nas tomadas de decisões que envolvam as Cadeias de Suprimentos. Ao que tudo indica, a Manufatura Aditiva possui potencial de reestruturar as Cadeias de Suprimentos de alguns produtos, porém essa transformação ainda é pouco considerada em nível estratégico pelas empresas. Parte disso, por falta de estudos empíricos que mostrem as reais relações de benefícios que a Manufatura Aditiva pode estabelecer com os processos produtivos.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Vista como uma tecnologia disruptiva, de alto impacto tecnológico, e de mudança organizacional pelo Fórum Econômico Mundial em 2016, a Manufatura Aditiva é considerada por especialistas e engenheiros, um meio para solucionar problemas de produção, até então incapazes de serem resolvidos. Esse é um dos principais motivos pelo qual a tecnologia desperta o interesse de governos, empresas e instituições de pesquisa.

Alguns estudos como a fabricação de peças nas áreas aeronáutica, aeroespacial, médica e odontológica e principalmente de protótipos, já demonstram resultados promissores. A indústria automotiva, arquitetura e projetos, e a educação também estão usufruindo dos benefícios da Impressão 3D (KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007). Existe um potencial inicial nessa tecnologia para atender pequenos pedidos e para personalização de objetos (MARTINA, et. al., 2015). No Quadro 1 é possível verificar algumas áreas que já estão se beneficiando de maneira profissional e até comercial da tecnologia de Impressão 3D.

Os benefícios do uso da Impressão 3D podem ser sentidos nas diversas áreas. Melhor aproveitamento da matéria prima, peças mais leves e resistentes, construção de objetos complexos, velocidade de produção a um baixo custo e produção próxima do cliente final, reduzindo os custos de fabricação para demandas em baixa escala despertando a atenção de especialistas (VOLPATO, 2007; REEVES & MENDIS, 2015; CUNICO, 2017).

Quadro 1 - Áreas que já estão se beneficiando da Manufatura Aditiva

Área	Benefícios
Arquitetura	Maquetes em escala, não só de edifícios, mas de cidade inteiras. Objetos de decorativos (KITSON, et. al., 2016, 2002; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2017).
Medicina	Próteses leves, rápidas, baratas e ajustadas ao paciente. Impressão de imagens, pré-operatórios aumentando as chances de recuperação do paciente (KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009; CUNICO, 2017).
Odontologia	Os laboratórios dentários podem produzir de forma rápida e precisa coroas, pontes, modelos rígidos e uma ampla gama de dispositivos ortodônticos (CUNICO, 2017).
Indústria moveleira	Impressão de pequenos móveis e peças que substituem madeira ou plástico (THOMPSON, 2007)
Moda	Criação de roupas ajustadas ao corpo e leves com <i>design</i> futurístico e complexo (STEFANAKOU, 2009; MARTINA, et. al., 2015).
Engenharias	A Manufatura está passando por grandes mudanças com a introdução da Manufatura Aditiva nos processos produtivos (GOTHAIT, 1999; VANDRESEN, 2004; RODRIGUES E NEUMANN, 2003; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009; GUO E LEU, 2013; CUNICO, 2017).
Aeronáutica e aeroespacial	A redução de peso nas peças funcionais é um dos benefícios. A NASA possui duas impressoras 3D (FDM) na Estação Espacial para produção de peças sobressalentes no espaço (METZGER, et. al., 2013).
Alimentação	Impressoras 3D para confeitarias e lojas de doces já são usadas nos EUA, Europa e no Brasil (WISHBOX, 2016).
Arqueologia	As impressoras 3D estão recriando objetos perdidos ou furtados e cenários destruídos por guerras. Em um museu nos EUA, um paleontólogo está imprimindo réplicas de ossos de dinossauros (TAKAGAKI, 2012).
Joalherias	Joalherias na Europa já estão criando joias com <i>designs</i> complexos em diversos tipos de materiais (ouro, prata, aço inox) (MONTEIRO, 2015).
Educação	Objetos e personagens de livros são impressos para alunos cegos em escolas nos EUA, na Europa e Ásia. Impressão de brinquedos e objetos educativos (AGUIAR, 2016).
Meio ambiente	Diversas próteses já foram impressas e implantadas em animais mutilados. (BERGER, 2015).
Automobilístico	Montadoras utilizam peças impressas em 3D na montagem dos seus automóveis, reduzindo custos. O mesmo está sendo feito com motos e bicicletas (VOLPATO, 2007; TAKAGAKI, 2012; PORTO, 2016;).
Construção civil	A criação da <i>Contour Crafting</i> (Construção por Contornos), uma técnica que utiliza uma impressora 3D de grande dimensão para a construção civil (PORTO, 2016).
Calçados	São utilizadas as impressoras 3D <i>Stratasys Objet Eden350V</i> e <i>Objet Eden260V</i> , sistemas multimateriais que permitem aos designers da empresa Alpargatas desenvolverem solados de calçados com múltiplas propriedades, funcionalidades e aparência (SILVEIRA, et. al., 2001; DA SILVA, 2016).

Fonte: Autor (2017)

Schwab (2017) apresenta a Manufatura Aditiva como uma vantagem do deslocamento dos meios de produção, que antes eram exclusivamente da indústria, para mais próximo do

cliente final, ou pelo menos, melhor distribuído pela Cadeia de Suprimentos. Esse fato corrobora o crescente aumento de vendas de impressoras 3D no mercado.

De acordo com uma recente pesquisa da Gartner Group (2016), o mercado cresceu 108% só no ano de 2016. Com potencial de faturamento que pode chegar à US\$ 21 bilhões em 2020, empresas estão investindo na tecnologia (hardware e software) para melhorar e descobrir novos materiais ou torná-los mais resistentes e adaptáveis as impressoras 3D, impulsionados pelo interesse e pela demanda, tanto de empresas como de pessoas físicas.

Por ser uma tecnologia que demonstra mais relações positivas do que negativas, e por existirem estudos mais exploratórios do que práticos, as aplicações e implicações do seu uso ainda são de natureza investigativa. Uma dessas lacunas de pesquisa que necessitam ser preenchidas está voltada para a Cadeia de Suprimentos. Cunico (2017) afirma que 20% da produção mundial deverão envolver processos de Impressão 3D até 2025, e os investimentos de grandes corporações nessa tecnologia apontam que essa previsão pode estar correta.

A Cadeia de Suprimentos convencional é vista como uma sequência de processos que acontecem de forma organizada, na qual cada agente possui seu papel bem estabelecido até a chegada do produto ao cliente final. No entanto, a Manufatura Aditiva pode proporcionar o deslocamento da fabricação para qualquer ponto da cadeia, encurtando o tempo de fabricação e a disposição do produto para o cliente, o que pode complementar ou modificar a forma como alguns produtos são fabricados e distribuídos. Porém, o assunto ainda se apresenta no campo da especulação e com base nisso é que se questiona: como a Cadeia de Suprimentos poderá reagir e se organizar para tratar das mudanças que a Manufatura Aditiva pode causar nos meios de produção e distribuição?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Considerando o contexto apresentado até o momento a dissertação tem como objetivo principal estudar e analisar os efeitos da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos. No intuito de atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos são traçados:

- Realizar um estudo exploratório sobre a Manufatura, Manufatura Aditiva e a Cadeia de Suprimentos;

- Identificar e apresentar as principais estratégias de Cadeias de Suprimentos, orientadas pelo processo de Manufatura Aditiva;
- Avaliar por meio de uma pesquisa como a Manufatura Aditiva pode se tornar um diferencial competitivo para a Cadeia de Suprimentos.

1.3 JUSTIFICATIVA

O surgimento da Quarta Revolução Industrial e com ela uma escalada de avanços tecnológicos que estão trazendo mudanças e transformações dentro da Cadeia de Suprimentos justifica a importância deste trabalho. As Cadeias de Suprimentos são organismos extremamente complexos e sua estrutura depende de tecnologia e da colaboração de diversos agentes.

Nesse sentido, com a intenção de aprofundar a pesquisa optou-se por isolar e estudar apenas a Manufatura Aditiva como uma tecnologia disruptiva da Quarta Revolução Industrial e que pode causar mudanças e transformações na Cadeia de Suprimentos. A Manufatura Aditiva tem a força necessária para reconfigurar os modelos convencionais da Cadeia de Suprimentos e até de mudar a maneira de como elas se comportam criando novos modelos conceituais.

Existem estudos realizados em áreas mais específicas de análise dos impactos da Manufatura Aditiva, principalmente voltados para produção nas áreas de peças de aeronaves, aeroespacial, automobilística e biomédica. No entanto, esses trabalhos não abordam um sentido amplo que envolva uma Cadeia de Suprimentos, e ainda carecem de análises mais detalhadas das influências causadas pela tecnologia de Manufatura Aditiva ao longo dos elos integradores de uma Cadeia de Suprimentos.

No Quadro 2, conforme as fontes citadas, resumem-se as justificativas para o uso da Manufatura Aditiva nas organizações e da importância de se estudar os efeitos gerados pela tecnologia da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos. O Quadro 2, bem como o referencial teórico serviram de base para a elaboração dos construtos que serão analisados pelos especialistas na pesquisa Delphi.

Quadro 2 - Motivação para o uso da Manufatura Aditiva

Justificativas	Principais fontes
Aumento do mix de produtos fabricados	CROWTHER e COOK, (2007); VOLPATO, (2007); SCHWAB, (2016); MANYIKA, (2013).
Produção de baixos lotes	CROWTHER e COOK, (2007); KITSON, et. al., (2016); VOLPATO, (2006); SCHWAB, (2016); MANYIKA; et. al., (2013).
Redução do <i>Lead time</i> de Produção	PATUWO e HU, (1980); SCHRODER e SOHAL, (1999); VOLPATO, (2007); SCHWAB, (2016); MANYIKA, (2013).
Menor tempo de espera por peça	KITSON, et. al., (2016); DAWES, BOWERMAN, TREPINGTON, (2015); CUNICO, (2014).
Redução de estoques	KITSON, et. al., (2016); VOLPATO, (2007); CUNICO, (2014); SCHWAB, (2016).
Redução do ciclo de produção	MANYIKA, (2013); CUNICO, (2014); KITSON, et. al., (2016); SCHWAB, (2016).
Redução de desperdícios	VOLPATO, (2007); MANYIKA, (2013); CUNICO, (2014); SCHWAB, (2016).
Redução de retrabalhos	CO, PATUWO e HU, (1998); VOLPATO, (2007); CUNICO, (2014); SCHWAB, (2016).
Melhoria no controle da produção	VOLPATO, (2007); MANYIKA, (2013); CUNICO, (2014); SCHWAB, (2016).
Melhor confiabilidade na produção	VOLPATO, (2006); CUNICO, (2014); ACHILLAS, (2014); DAWES, et. al., (2015).
Diminuição do tempo de entrega	MECHING, et. al., (1995); KITSON, et. al., (2016); MANYIKA, (2013).
Menor <i>Lead time</i> entre os agentes da Cadeia	CO, et. al., (1998); SCHRODER e SOHAL, (1999); VOLPATO, (2007); MANYIKA; (2013); CUNICO, (2014); SCHWAB, (2016).
Velocidade de resposta a mudanças do mercado	CO, et. al., (1998); VOLPATO, (2007). SCHWAB, (2016).
Agilizar o lançamento de um produto	MECHLING, PEARCE, (1995); VOLPATO, (2007); CUNICO, (2014).
Maior flexibilidade de resposta	CO, et. al., (1998); VOLPATO, (2007). SCHWAB, (2016); MANYIKA, (2013).
Aumento da customização da produção	VOLPATO, (2007). SCHWUAB, (2016).
Melhoria no controle da produção	VOLPATO, (2007); MANYIKA, (2013).
Melhoria na utilização das máquinas	CO, et. al., (1998); SLACK e LEWIS, (2001); VOLPATO, (2007); CUNICO, (2014); ACHILLAS, (2014).
Informações da produção	ACHILLAS, (2014); SCHWAB, (2016).
Melhoria na qualificação dos funcionários	DAWES, et. al., (2015); SCHWUAB, (2016).
Melhoria no aumento da produtividade	SCHRODER e SOHAL, (1999); SCHWAB, (2016).
Redução de acidentes	SCHRODER e SOHAL, (1999); SCHWAB, (2016).
Aumento no aprendizado organizacional	SCHRODER e SOHAL, (1999); SCHWAB, (2016).
Surge a necessidade de novas leis sobre direitos autorais e patentes.	FREITAS, (2016). ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL PARA A PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL - AIPPI, (2008). ALMEIDA, (2002). ANDRADE, (2009).

Fonte: adaptado de Mançanares (2017)

Conforme apresentado no Quadro 2, tanto as fontes quanto as justificativas que abordam estudos sobre Manufatura Aditiva apresentam um foco voltado para melhorias no setor de produção.

Nesse contexto, com relação à Cadeia de Suprimentos se observa uma lacuna nas evoluções tecnológicas que possam expressar significância evolutiva nos conceitos apresentados até então. Os estudos apresentados até o momento mostram especulações sobre as vantagens e desvantagens relacionadas com os processos de fabricação, armazenagem e distribuição de produtos. É tímido, porém crescente, o aumento da adoção da tecnologia de Manufatura Aditiva pelos diversos agentes da Cadeia de Suprimentos nos países desenvolvidos, incluindo o cliente final.

O que fortalece a intenção de estudar de forma mais profunda os aspectos relevantes que possam apresentar mudanças significativas nas estratégias organizacionais e no comportamento da Cadeia de Suprimentos.

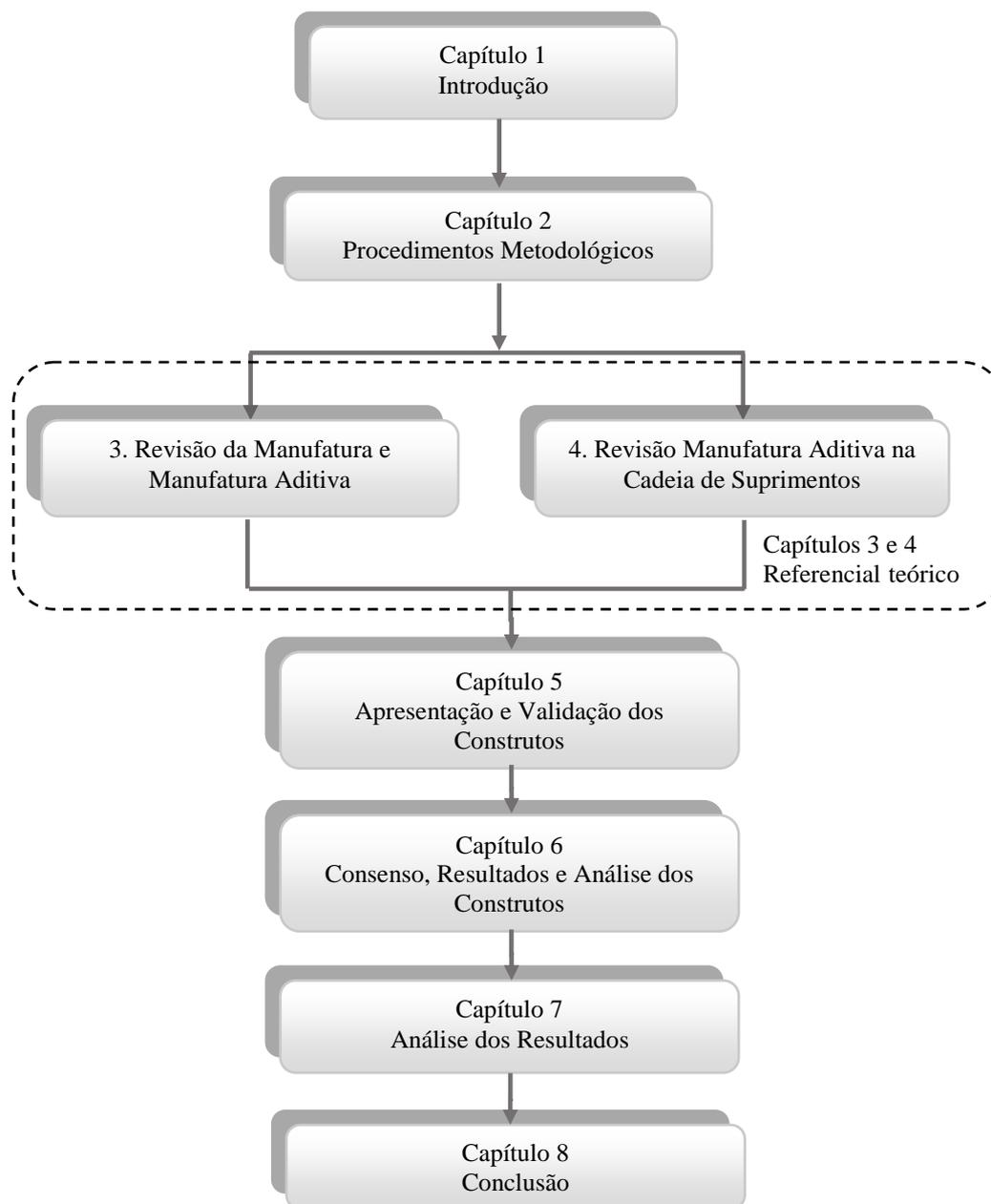
Academicamente, o assunto torna-se relevante por não existirem preocupações suficientes com as relações que a tecnologia de Manufatura Aditiva pode trazer para dentro da Cadeia de Suprimentos. A preocupação da maior parte dos autores está voltada para a melhoria dos processos produtivos, sem avaliar as consequências da Manufatura Aditiva nos diversos agentes que formam uma Cadeia de Suprimentos.

Sendo assim, estudar os aspectos da Manufatura Aditiva junto à Cadeia de Suprimentos direciona também as implicações adaptativas necessárias dessas cadeias. Para alguns produtos, essas implicações podem ser significativas, podendo resultar em cenários futuros de médio e longo prazo, otimistas ou não, com crescimento da difusão da Impressão 3D.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para se compreender o seguimento do trabalho e das atividades desenvolvidas, a dissertação está estruturada em oito Capítulos, sendo os Capítulos 3 e 4 elaborados para o Referencial teórico sobre Manufatura, Manufatura Aditiva e Cadeia de Suprimentos respectivamente, a estrutura está ilustrada de acordo com a sequência na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Organização do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Dentro desse processo, serão desenvolvidos e apresentados os capítulos do trabalho:

O Capítulo 1 apresenta a introdução, definição do problema de pesquisa, os objetivos, justificativa, delimitações da pesquisa e a estrutura do trabalho. Compreendendo as discussões sobre a importância do trabalho e as relações da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos. Nesse Capítulo é possível identificar as lacunas de pesquisa e o problema que se busca resolver.

O Capítulo 2 apresenta os procedimentos metodológicos do trabalho, divididos em: caracterização da pesquisa, método do trabalho, etapas do trabalho, método Delphi, validação dos construtos e conceito de consenso e estabilidade do método Delphi e as delimitações da pesquisa e como esses procedimentos serão explorados para alcançar os objetivos estabelecidos.

O Capítulo 3 e 4 apresentam as revisões sistemáticas e exploratórias da literatura relacionadas aos temas pertinentes ao escopo do trabalho. Na seção 3.1 até as subseções 3.4.6, por meio de uma síntese bibliográfica, são estudados e apresentados os conceitos de Manufatura, Manufatura Avançada e Manufatura Aditiva. Nesse último buscam-se identificar as principais tecnologias utilizadas de Manufatura Aditiva nas organizações, seus conceitos e finalidades. No Capítulo 4, nas seções 4.1 até 4.3, busca-se apresentar a evolução dos conceitos de Logística e Cadeia de Suprimentos até chegar às Redes de Suprimentos. A partir da seção 4.4 até a 4.5, realizam-se, então, as relações da Manufatura Aditiva com a Cadeia de Suprimentos.

No Capítulo 5 são separadas as dimensões e escolhidos os 33 construtos - posteriormente apresentados aos cinco validadores - para análise e aprovação do conteúdo de cada construto quanto a sua clareza e relevância, utilizando-se, para isso, a fórmula estatística de Coeficiente de Validação de Conteúdo (CVC) para cada construto.

No Capítulo 6 são apresentados os gráficos com os construtos que alcançaram o consenso nas respostas dos especialistas na primeira, segunda e terceira rodada. Em seguida são mostrados os resultados e análises individuais.

O Capítulo 7 tem por objetivo realizar uma análise abrangente do que foi observado durante a pesquisa Delphi. Primeiramente serão discutidas as considerações a respeito da Manufatura Aditiva junto à Cadeia de Suprimentos; em seguida discutem-se potenciais mudanças na arquitetura da Cadeia de Suprimentos e qual dos elos da Cadeia de Suprimentos a Manufatura Aditiva mais estará relacionada. Por fim, serão discutidas quais as barreiras legais que podem dificultar o avanço da manufatura aditiva junto às empresas.

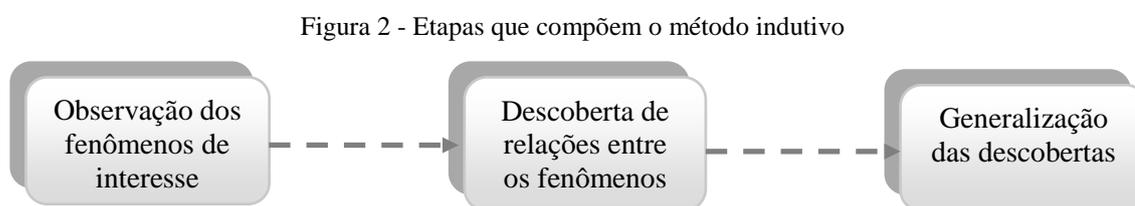
Uma vez apresentados os dados e as análises da pesquisa e a finalização das discussões, no Capítulo 8 discutem-se as considerações finais do que foi descoberto, seguido de uma discussão de potenciais pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo da dissertação tem o objetivo de apresentar os principais métodos científicos empregados para realização da pesquisa. Adicionalmente, são apresentadas as características da pesquisa, o método de trabalho que se subdivide em: Etapas do trabalho; Método Delphi; Validação dos construtos; Conceitos de consenso e estabilidade da pesquisa. Por fim, são apresentadas as Delimitações da pesquisa e Estrutura do trabalho.

Na Figura 2 destaca-se o uso do método indutivo para pesquisa. Dresch, (2015) destaca que os estudos em gestão têm utilizado o método científico indutivo para melhorar a compreensão de fatos, dados singulares e fenômenos estudados e fundamentados em premissas e dados previamente constatados e observados e, então, chegar a uma conclusão genérica. Esse método permite a construção de novos conhecimentos, por meio dos quais o pesquisador parte de casos específicos para tentar chegar a uma regra geral.

Para Dresch et. al., (2015), o pesquisador que utiliza o método indutivo parte do pressuposto de que é possível construir o conhecimento científico com a observação. As três etapas básicas para o método indutivo são mostradas na Figura 2:



Fonte: Dresch et. al. (2015)

Pesquisas da área de gestão utilizam o método indutivo para considerar que, após números suficientes de casos particulares, chega-se a uma verdade geral. Ao contrário do método dedutivo, que busca dados particulares da experiência e que propõe certas relações

entre as variáveis, mas não busca e nem apresenta uma fundamentação conclusiva (CAUCHICK, 2011; LAKATOS E MARCONI, 2013; DRESCH et. al., 2015).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Uma das abordagens para desenvolver uma pesquisa é a definição dos processos qualitativos e quantitativos (Quadro 3). Conforme Creswell (2007), ao verificar um problema seguindo a elaboração de uma teoria e de variáveis estatísticas, usa-se o método quantitativo. Já os métodos qualitativos se ocupam de variáveis que não podem ser medidas, apenas observadas. Métodos qualitativos segundo Mayers (1997) e Yin (2005), vêm das ciências sociais, em oposição aos métodos quantitativos que derivam das ciências naturais. Sua característica principal é o estudo aprofundado de um sistema no ambiente onde ele está sendo usado, ou onde se espera que o sistema seja usado, envolvendo pessoas e/ou sistemas.

Quadro 3 - Comparação das abordagens quantitativas e qualitativas

Abordagem quantitativa	Abordagem qualitativa
A realidade é vista de forma objetiva, independente do pesquisador	A realidade é construída pelos indivíduos na pesquisa
O pesquisador deve permanecer distante do que está sendo pesquisado	O pesquisador interage com o estudo
Os valores do pesquisador não devem influenciar a pesquisa	Os valores do pesquisador interferem na pesquisa
A linguagem utilizada no trabalho não deve ser impessoal e formal	A linguagem utilizada é pessoal e informal
Tem a intenção de criar generalizações	Não visa à generalização dos resultados

Fonte: Creswell (2007)

Para esse trabalho usou-se a abordagem qualitativa. Quando se aborda a pesquisa qualitativa, os investigadores realizam uma pergunta focal e a complementam com diversas questões, usando palavras do tipo “como” ou “o que” e de verbos exploratórios como “explorar”, “descrever”, “identificar”.

O trabalho apresenta-se ainda como do tipo exploratório e descritivo. Sua característica de ser exploratório se dá pelo caráter recente do tema proposto. A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com a intenção de torná-lo mais explícito. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas

com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2007).

O trabalho apresenta-se como descritivo porque analisa-se a opinião de uma amostra da população sobre determinados fenômenos, utilizando-se para isso técnicas padronizadas de coleta de dados. Ainda, conforme Gil (2007), esses dois tipos de pesquisa são tidos como habituais pelos pesquisadores sociais. A técnica adotada para realização da coleta de dados foi composta por uma pesquisa de campo, utilizando-se do Método Delphi com a intenção de convergir opiniões de um grupo de especialistas em Logística e Manufatura das áreas acadêmicas e/ou empresarial.

2.2 MÉTODO DO TRABALHO

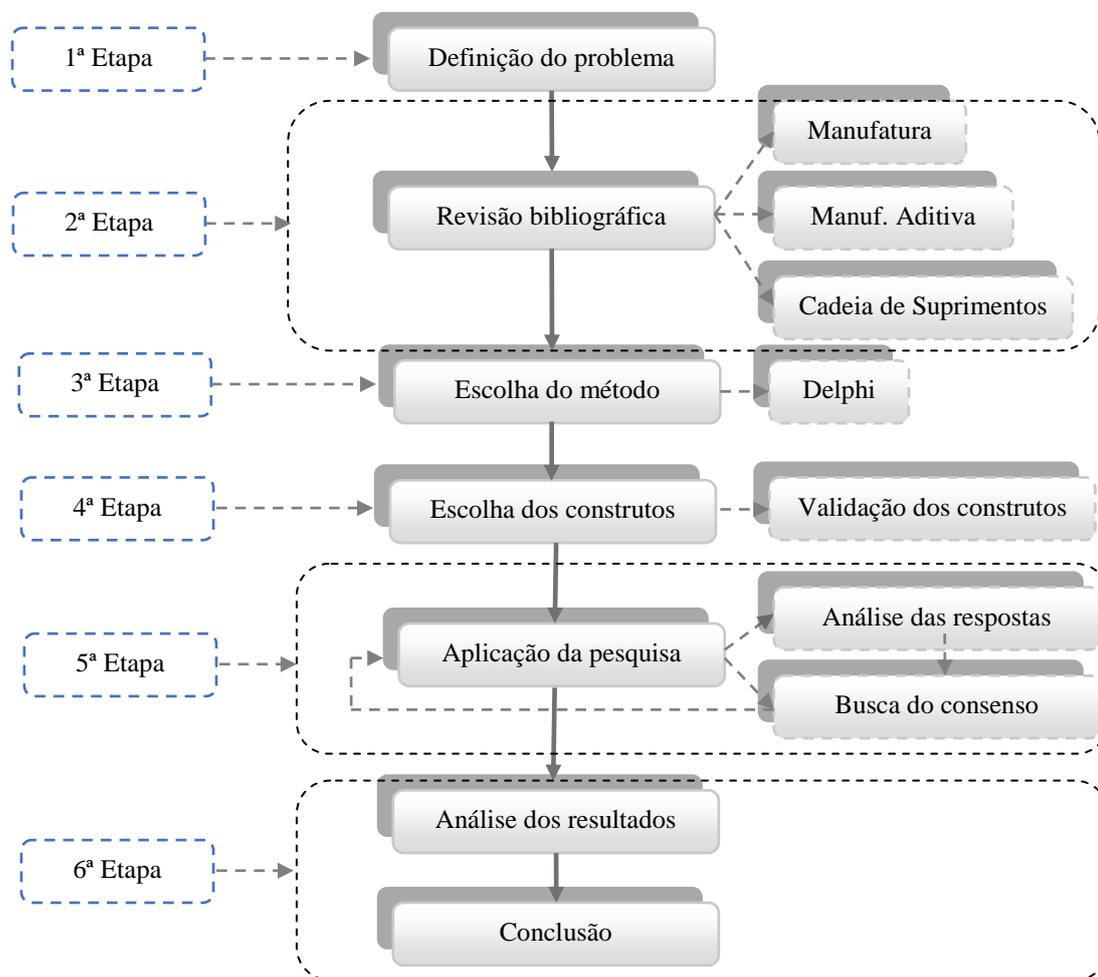
O método de trabalho adotado busca desenvolver os objetivos geral e específicos mostrados na seção 1.2 desta pesquisa. Para Lakatos (2013), todas as ciências se caracterizam pela utilização de métodos científicos, pois a importância em executar e apresentar os métodos está justamente na confirmação da existência da ciência.

Conforme Fillipini (1997), na área de engenharia de produção, existem abordagens de estudo que são voltadas para o desenvolvimento teórico-conceitual, estudo de caso, modelagem e simulação, pesquisa-ação, entre outros. Sendo assim, nesse trabalho buscou-se explorar a opinião de especialistas junto a um conjunto de construtos que mostrassem as influências do uso da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos.

2.2.1 Etapas do trabalho

Essa seção apresenta as seis etapas da pesquisa desenvolvida. A Figura 3 apresenta a lógica de desenvolvimento da pesquisa para alcançar os objetivos definidos no trabalho. As etapas do trabalho definem a sequência de passos lógicos que o pesquisador seguirá para alcançar os objetivos de sua pesquisa. Nas etapas do trabalho as técnicas de coleta e análise de dados devem estar posicionadas para expor a clareza e transparência na condução da pesquisa, o que possibilita que sua validade seja reconhecida (DRESCH et. al., 2015). Essas etapas são apresentadas na Figura 3:

Figura 3 - Etapas para alcançar objetivos de forma científica



Fonte: Autor, 2018

A primeira etapa foi definir o problema a ser estudado, baseado em uma necessidade real de analisar os efeitos do uso da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos utilizando o método Delphi.

Buscando comprovar a real existência do problema levantado que investiga os efeitos da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos, realizou-se uma revisão bibliográfica estruturada sobre os principais conceitos envolvendo a evolução da Manufatura, Manufatura Avançada e Manufatura Aditiva que também serviu como referencial para etapa 2 do Método de Trabalho. Na sequência foi mostrada a evolução dos conceitos da Logística passando pela Cadeia de Suprimentos até chegar ao conceito de Redes de Suprimentos.

Porém, o termo para definir a Manufatura Aditiva é fragmentado em diversas palavras-chaves que foram encontradas e relacionadas e que em seguida foram utilizadas como base para pesquisa e assim estabelecer qual ou quais os termos são mais utilizados na

literatura e nos repositórios de pesquisa para definir quais deveriam ser utilizados nesse trabalho.

Nessa busca, optou-se por repositórios ou bases de pesquisa como: *American Society of Mechanical Engineers - ASME, ISI Web of Knowledge, Web of Science, Scientific Electronic Library Online (Scielo Books), Scopus, Academia.edu, Researchgate, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (Lume) e periódicos da Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES)*. Nessas fontes, foram selecionados artigos, dissertações e teses que abordassem o tema proposto. Outras publicações e *sites* de pesquisa foram estudados e referenciados para construção do trabalho, por demonstrarem relevância ao tema proposto.

Essas bases foram aproveitadas para pesquisar sobre a Manufatura Aditiva, utilizando-se palavras-chave ou termos históricos sobre Manufatura Aditiva. O Quadro 4 relaciona uma lista de palavras-chave utilizadas para levantar produções científicas disponíveis nos repositórios escolhidos.

Quadro 4 - Lista de palavras-chave para pesquisa na internet

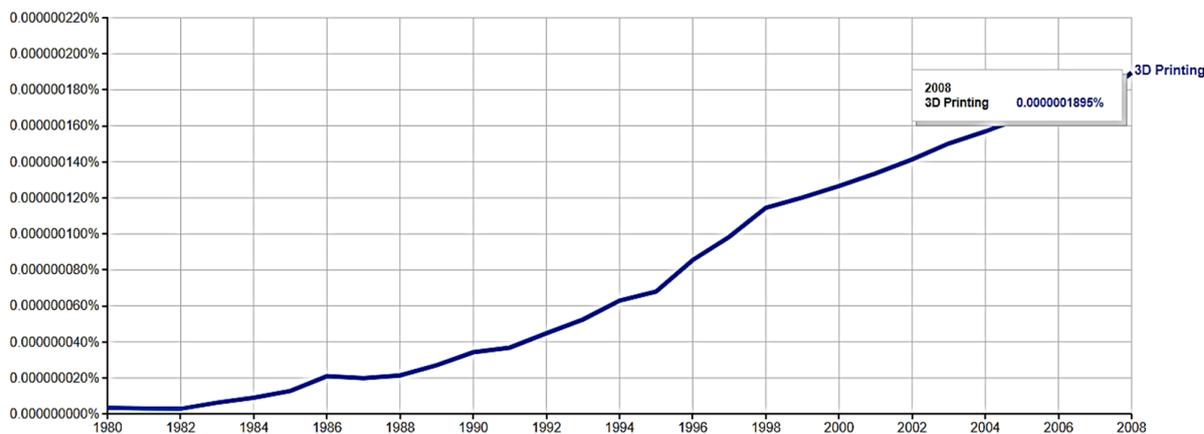
Keywords in english	Palavras-chave em português
<i>3D Printing</i>	Impressão 3D
<i>Additive fabrication</i>	Fabricação de aditivos
<i>Additive layer manufacturing</i>	Fabricação de camadas aditivas
<i>Additive manufacturing</i>	Manufatura Aditiva
<i>Additive processes</i>	Processos aditivos
<i>Additive production</i>	Produção aditiva
<i>Additive techniques</i>	Técnicas aditivas
<i>Additives manufacturing technology</i>	Tecnologia de manufatura de aditivos
<i>Advanced manufacturing</i>	Manufatura avançada
<i>Advanced manufacturing technologies</i>	Tecnologias de manufatura avançada
<i>Layer manufacturing</i>	Fabricação de camadas
<i>Layered production</i>	Produção em camadas
<i>Rapid manufacturing</i>	Manufatura rápida
<i>Rapid prototyping</i>	Prototipagem rápida
<i>Solid free form fabrication</i>	Fabricação de formas livres sólidas
<i>Flexible manufacturing systems</i>	Sistemas de manufatura flexível
<i>Three-dimensional printing</i>	Produção tridimensional

Fonte: autor (2017)

Apesar de existirem diversos conceitos para identificar a Impressão 3D, quando realizada uma pesquisa pelo Google *Ngram Viewer* (um programa que conta a frequência com que um termo aparece em livros publicados em um determinado período), no período de 1980

até 2008, a palavra em inglês *3D Printing* (Impressão 3D) aparece no gráfico de maneira mais acentuada que os demais termos (Gráfico 1).

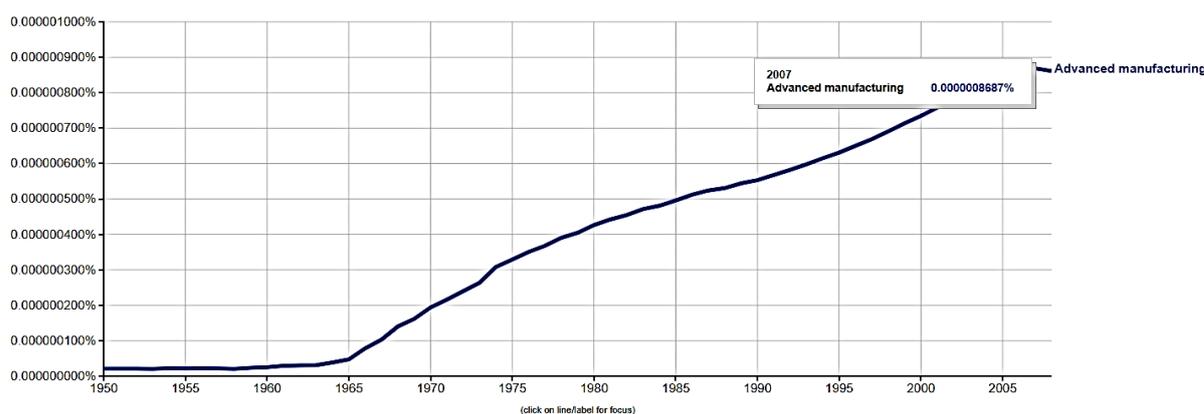
Gráfico 1 - Frequência que o termo *3D Printing* aparece em livros publicados



Fonte: Google Ngram Viewer, agosto de 2018

O segundo termo que se destaca é *Advanced Manufacturing* (Manufatura Avançada) (Gráfico 2), isso porque a Manufatura Aditiva é conceituada como uma das tecnologias de Manufatura Avançada. Todos os demais termos mostrados no Quadro 4 não ganham destaque mostrando que, ao se pesquisar sobre Impressão 3D, ao menos de forma literária os termos *3D Printing* e *Advanced manufacturing* são as palavras-chave.

Gráfico 2 - Frequência que o termo *Advanced Manufacturing* aparece em livros



Fonte: Google Ngram Viewer, agosto de 2018

Conforme Dresch et. al., (2015) a revisão da literatura se caracteriza como uma pesquisa do tipo teórica-conceitual, sendo uma etapa fundamental da condução de pesquisas científicas, dedicadas a reconstruir teorias, conceitos, ideias, ideologias, polêmicas, tendo em

vista melhorar os conceitos teóricos. A pesquisa é um método da investigação que procura identificar, compreender e ajudar a desenvolver teorias, estabelecer evidências e resolver problemas (LAKATOS, 2011; MARCONI, 2013; DRESCH, et. al., 2015).

Sendo a pesquisa um processo de investigação, cujo objetivo é a busca para desenvolver a resolução de problemas, ela torna-se necessária diante da falta de dados e informações suficientes para responder um problema. Também foram utilizadas as bibliografias impressas (livros), que abordassem as mesmas palavras-chave utilizadas como fonte de pesquisa e relacionados no Quadro 5.

Quadro 5 - Listagem de livros consultados sobre Manufatura Aditiva

Autor	Editora	Título
Almir Meira Alves	Fiap	<i>Prototyping</i>
Chris Anderson	Campos	<i>Makers: A nova revolução industrial</i>
Eliseu Savério Sposito	<i>Scielo Books</i>	O novo mapa da indústria no início do século XXI
Erik Brynjolfsson e Andrew Macfree	<i>Alta Books</i>	A segunda era das máquinas: Trabalho, progresso e prosperidade em uma época de tecnologias brilhantes
Klaus Schwab	Edipro	A quarta revolução industrial
Luiz Emanuel S.M. Campos	<i>E-book</i>	Prototipagem rápida: Definições, conceitos e prática
Vários	<i>Brasport</i>	Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial
Marlon Cunico, PhD.	<i>Concep3D</i>	Impressoras 3D: O novo meio produtivo
Neri Volpato	<i>Blucher</i>	Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações
Robson Marinho da Silva	<i>E-book</i>	Sistema de controle da indústria 4.0

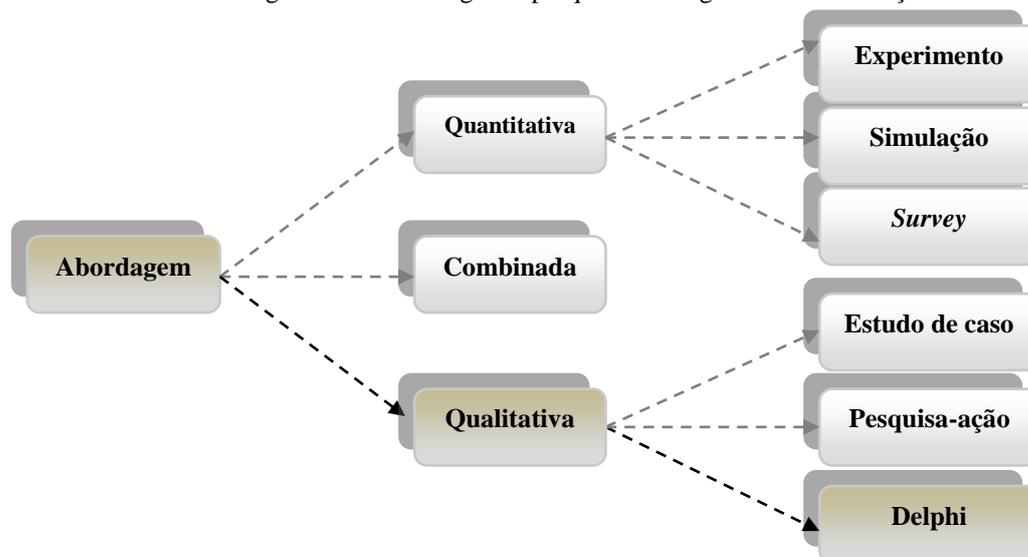
Fonte: autor (2017)

Na Terceira etapa buscou-se a seleção do método para aplicação da pesquisa. Após uma análise criteriosa, o método Delphi foi escolhido por apresentar a melhor estrutura técnica de pesquisa para proposta do trabalho. O método Delphi utiliza da opinião de especialistas para desenvolver teorias. É um método sistemático que envolve a interação estruturada entre um grupo de especialistas sobre determinados assuntos. A técnica Delphi prevê que sejam realizadas pelo menos duas rodadas com os especialistas respondendo perguntas ou afirmações e quando necessário dando justificativas de suas respostas.

Após o encerramento estatístico das rodadas pelo pesquisador e organizador dos dados, é possível que o grupo de especialistas forneça uma previsão sobre o tema investigado chegando-se a um consenso nas respostas apresentadas pelo grupo.

Para Miguel (2010), o esquema de técnicas de pesquisa aplicadas em engenharia de produção pode ser representado pela Figura 4.

Figura 4 - Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção



Fonte: Adaptada de Miguel, 2010

A Quarta etapa foi alinhada com os objetivos específicos de buscar selecionar, validar e apresentar os 33 construtos (modelos criados mentalmente que estabelece um paralelo entre uma observação idealizada e uma teoria) que possam gerar cenários futuros envolvendo o efeito do uso da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos. Os motivos da escolha de cada construto são apresentados no Capítulo 5 deste trabalho.

Na quarta etapa foram selecionados e convidados cinco validadores para identificar se cada construto apresenta clareza de linguagem e a pertinência prática para ser incluído na pesquisa. Essa etapa tem o objetivo de validar os conteúdos de cada construto utilizando-se para isso uma escala Likert de cinco pontos distribuídos em: 1- Não concordo totalmente, 2 – Não concordo parcialmente, 3 – Não concordo, nem discordo, 4 – Concordo parcialmente e 5 - Concordo totalmente. Foi estabelecido um prazo de 15 dias para o retorno da avaliação e o método estatístico utilizado foi o Coeficiente de Validação de Conteúdo – CVC, todas as respostas resultaram entre 4 – Concordo parcialmente e 5- Concordo totalmente. O método estatístico está detalhado no Capítulo 5.

Uma vez os construtos validados, iniciou-se a quinta etapa com a seleção e o convite aos especialistas para participarem da pesquisa Delphi. O principal mecanismo de recrutamento dos especialistas foi o site do www.linkedin.com, uma rede social profissional. Foram enviados 799 convites para os profissionais via mensagem acompanhado de um vídeo explicativo sobre a pesquisa. Houve retorno positivo de 54 especialistas interessados em participar da pesquisa (cerca de 7%). O método de seleção foi uma análise do currículo de

cada especialista interessado em participar da pesquisa e que possuísse conhecimentos em Manufatura, Manufatura Aditiva e em Cadeia de Suprimentos, resultando por tanto, em 37 especialistas para responderem as rodadas do Delphi. Sendo assim, a seleção dos respondentes desta pesquisa foi definida de maneira não-probabilística e do tipo intencional (WRIGHT E GIOVINAZZO, 2000). O perfil mais detalhado de cada participante se encontra no Apêndice B. Foi disponibilizada a primeira versão do instrumento de pesquisa utilizando o software www.avalio.com.br aos 37 especialistas participantes com prazo de até 45 dias para responderem. Houve retorno de todos os entrevistados dentro do prazo estipulado.

Houve o cuidado de buscar, dentro de uma população desconhecida, uma amostra finita de especialistas que possuíssem conhecimentos acadêmicos e uma boa maturidade profissional sobre Manufatura, Manufatura Aditiva e Cadeia de Suprimentos, tanto para os avaliadores dos construtos sobre a relevância e clareza, quanto para os que participaram das rodadas do método Delphi. Estatisticamente e considerando uma margem de erro de 0,06 e um desvio padrão de 0,15, com grau de confiança de 0,95, o programa estatístico sugeriu uma amostra da população de no mínimo 25 entrevistados.

Na primeira rodada da pesquisa não houve comentários dos especialistas. Os dados foram consolidados e transformados em um gráfico com percentual das respostas e reenviado para os especialistas para análise e início da segunda rodada.

Na segunda rodada, o instrumento de pesquisa foi disponibilizado utilizando o Google Formulário e o prazo para responder a segunda rodada foi novamente de 45 dias. Nessa nova rodada houve uma perda de entrevistados, sendo que 33 (89%) dos 37 especialistas responderam a segunda rodada e 13 entrevistados fizeram 32 comentários relacionados aos construtos, sobre a mudança ou não de opinião em comparação com a primeira rodada.

Na terceira rodada, o instrumento de pesquisa foi novamente disponibilizado pelo Google formulário com prazo de 20 dias para responderem, sendo enviado dessa vez, apenas 11 construtos que não atingiram o consenso. Os especialistas avaliaram o questionário com acesso às respostas dos resultados anteriores para darem uma nova opinião. Houve retorno de 28 especialistas e uma perda de 14% dos entrevistados (5 especialistas). Ao todo 76% dos especialistas participaram das três rodadas. Dezenove especialistas realizaram 38 comentários para fundamentar sua opinião.

Na sexta e última etapa foram apresentadas as análises dos construtos e as considerações finais sobre os cenários futuros do efeito da Manufatura Aditiva na Cadeia de

Suprimentos e as propostas de trabalhos futuros. Todas as etapas apresentadas buscam estruturar o trabalho, esperando alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos da dissertação.

2.2.2 Método Delphi

O projeto Delphi foi desenvolvido nos Estados Unidos na década de 50 pelos pesquisadores Olaf Helmer e Norman Dalkner com apoio da Força Aérea dos Estados Unidos (*USAF*). O objetivo do projeto era aprimorar o uso da opinião de especialistas para prever as tendências tecnológicas do futuro e estratégias soviéticas de guerra, em um período que caracterizou o início da Guerra Fria gerado logo após a II Guerra Mundial (WRIGHT E GIOVINAZZO, 2000).

A técnica prevê pelo menos duas rodadas entre os especialistas escolhidos para alcançar o consenso dos construtos. Nesse processo busca-se o mais confiável consenso de opiniões dos respondentes nos artefatos avaliados, intercalados por *feedbacks* gerenciados pelo mediador do grupo. A literatura apresenta três características básicas do método Delphi: questionamento individual e repetitivo aos especialistas cuidadosamente selecionados de acordo com o grau de experiência e maturidade profissional; anonimato entre os respondentes e o *feedback* controlado pelo mediador em cada rodada (WRIGHT E GIOVINAZZO, 2000; CASTRO, LIMA, 2001; BERGER et. al., 2004; CRUZ, 2009).

Conforme Saint-Paul (1984), a ferramenta para coletar os dados, adotado pelo Delphi é sempre um questionário em formato de perguntas ou afirmações/construtos. O questionário é aplicado por um gestor da equipe que deverá consolidar os dados coletados, gerar estatísticas e decidir quais questões devem ser modificadas ou não e quais devem ser excluídas para a próxima aplicação das questões formuladas conforme orientação do próprio documento. O anonimato das respostas é fundamental para não haver influências de “status” acadêmico ou profissional, ou até mesmo de persuasão argumentativa da equipe que responde ou analisa os construtos. O tratamento estatístico simples facilita a interpretação dos resultados e é necessário para que a equipe possa acompanhar a evolução das respostas (WRIGHT, 2000).

2.2.3 Validação dos construtos para aplicação no método Delphi

Segundo Pasquali (2009), a análise de conteúdo antecede a análise do construto, pois se procura verificar a adequação da representação comportamental dos atributos. O Coeficiente de Validade de Conteúdo (CVC) mede o grau de concordância entre os entrevistados a respeito de cada construto apresentado para validação. Pasquali (2009), Hernández-Nieto (2002) e Balbinotti et al., (2006) recomendam que os construtos da pesquisa devam apresentar um valor mínimo de CVC igual a 0,80. Os resultados da pesquisa e a fórmula foram apresentados no subitem 5.2 Validação do conteúdo dos construtos.

2.2.4 Conceito de consenso e estabilidade no método Delphi

Neste trabalho optou-se pelo método de análise do Coeficiente de Variação (CV), também conhecido como desvio padrão relativo (DPR). É uma medida de dispersão relativa empregada para estimar a precisão dos experimentos e representa o desvio-padrão expresso em porcentagem em relação à média. Existem três classificações para análise dos resultados utilizando o método e podem variar de:

Se for < 15% - baixa dispersão nos resultados, os dados são homogêneos.

Se for >15% e < 30% - média dispersão nos resultados, podem ser homogêneos.

Se for > 30% alta dispersão, não são homogêneos.

O cálculo é feito através da seguinte fórmula:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

O desvio padrão de todas as respostas (S) é dividido pela média das respostas de cada rodada (\bar{x}), resultando no Coeficiente de Variação (CV). Quanto menor for o percentual do coeficiente, mais homogêneas serão as respostas, portanto, mais próximo do consenso entre os especialistas (PIMENTEL GOMES, 1985; FERREIRA, 1991). No Capítulo 6, mostra-se os resultados do Coeficiente de Variação dos construtos.

Conforme relata Dalkey (1969), na primeira rodada da aplicação do método Delphi é comum que exista uma dispersão nas respostas dadas pelos especialistas. Em uma segunda ou até terceira rodada as informações de retorno melhoram a comunicação entre o entrevistado e

o entrevistador, resolvendo dúvidas que possam ter permeado a primeira rodada e não foram resolvidas até então. Por isso, torna-se tão importante o retorno estatístico do método aos respondentes, sendo uma variável considerada no julgamento probabilístico.

2.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Conforme Lakatos e Marconi (2013), os limites de uma pesquisa podem ser determinados por meio de três tópicos: assunto, extensão e série de fatores. Os mesmos autores ressaltam ainda que essa limitação pode ser definida pelo objeto de estudo, campo de investigação e nível de investigação.

Faz parte deste trabalho delimitar o escopo de problema dos efeitos da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos, com intuito de compreender como a Manufatura Aditiva, também conhecida como Impressão 3D, pode afetar os agentes envolvidos na Cadeia de Suprimentos.

Portanto, sendo a Manufatura Aditiva uma tecnologia que está sendo aplicada em diversas áreas de uma Cadeia de Suprimentos, atenta-se para uma necessidade de realização de novas pesquisas também em agentes e setores organizacionais, vindo assim a melhorar a fundamentação das análises pesquisadas nesta dissertação. O próprio avanço da Tecnologia de Manufatura Aditiva torna-se um limitador para este trabalho. Com um ambiente empresarial competitivo e inovador, podem surgir novas tecnologias que superem outras já comercializadas e que ainda nem foram exploradas.

Este trabalho está ainda limitado às opiniões de um grupo de especialistas das áreas da Cadeia de Suprimentos, Manufatura e Manufatura Aditiva no que tange à criação de possíveis cenários futuros sobre a avaliação de construtos apresentados e analisados dentro de uma escala Likert de (1 até 5 pontos) utilizando o método Delphi. Além disso, cada um dos construtos citados na pesquisa pode servir de base para uma pesquisa mais aprofundada em trabalhos vindouros, que proponham novas mudanças de cenários futuros.

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA SOBRE MANUFATURA E MANUFATURA ADITIVA

O capítulo 3 deste trabalho está estruturado de forma a apresentar os conceitos e um panorama sobre a Manufatura, Manufatura Avançada e Manufatura Aditiva. Essa revisão literária é fundamental para apresentar, em seguida, os principais processos de Manufatura Aditiva que estão disponíveis atualmente no mercado e sendo utilizados pelos elos da Cadeia de Suprimentos, como diferencial estratégico e competitivo pelas empresas.

3.1 MANUFATURA

Conforme Lamb (2015), Manufatura é a fabricação sistemática de produtos por meio da utilização de máquinas, ferramentas e mão de obra, dividida em subtrativa, formativa e aditiva. A Manufatura está ligada ao processo industrial e, para Martinich (1997), ela está ligada aos sistemas de produção que produzem bens de consumo tangíveis.

Por sua vez, os sistemas de produção possuem sua origem primária na gestão de operações. Conforme Corrêa (2013), a gestão de operações, hoje, possui um escopo bem definido, sendo estudada nas escolas de administração e de engenharias. No entanto, é difícil de rastrear quando ela passou a ser vista como uma ciência.

Conforme a literatura, as características básicas da Manufatura originaram-se na Inglaterra, por volta de 1776 e, em seguida, nos Estados Unidos da América, com o surgimento de grandes fábricas, onde os trabalhadores se reuniam para fabricar produtos usando ferramentas e máquinas. É possível que essas características básicas tenham surgido devido ao início e expansão da primeira revolução industrial (1776), ano em que James Watt (1736-1819) desenvolve e comercializa seu primeiro motor a vapor. Baseado nos estudos de Skinner (1992), a evolução da Manufatura pela história pode ser visualizada no Quadro 6.

Quadro 6 - Evolução da Manufatura

ANO	FASE	FILOSOFIA BÁSICA	BASE DE COMPETIÇÃO	ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL
1400 - 1700	Revolução comercial	Colonização e comercialização	Navegação e novos produtos	Manufatura artesanal
1765 - 1815	I Revolução industrial	Início da mecanização	Status e poder	Início da Manufatura industrial
1800 - 1850	A idade do capitalismo técnico	Poder e controle	Substituição de importações	Dono próximo da operação e domínio da tecnologia Capataz cuida da produção
1850 - 1945	II Revolução Industrial Administração Científica	Produção em massa Altos estoques Intercambialidade de componentes	Baixo custo Eficiência	Dono preocupado com a tecnologia e investimentos Capataz vira encarregado e perde poder para Adm.
1940 - 1960	Início da III Revolução industrial	Curva de aprendizado *Anos dourados da Manufatura	Volume	Automatização da mão de obra direta
1960 - 1980	Declínio da Manufatura americana	Técnicas numéricas e computacionais	Automação de base eletrônica	Automatização da mão de obra indireta
	Entrada de novos competidores no cenário	Modelos simplificados e descentralizados	Qualidade total e variedade	Descentralização das decisões
1980 - 1996	Manufatura como base da competitividade	Um tipo de produção para estratégia de negócio	Qualidade Variedade Velocidade	Fábricas focalizadas Trabalho em equipe Novos produtos no mercado
2011 - ...	Início da IV Revolução industrial	Manufatura avançada	Personalização Economia Robótica	Trabalho homem e máquina Avanços tecnológicos

Fonte: Adaptado de Skinner (1985)

O marco fundamental da primeira revolução industrial foi a mecanização de atividades, até então executadas por mão de obra humana e agrária. A necessidade de mecanização é oriunda da revolução comercial e fez com que a economia se desenvolvesse de forma acelerada e aumentasse o poder aquisitivo de novos empresários e empregados. Isso, por sua vez, gerou novas demandas por bens de consumo, provocando o declínio do Feudalismo.

Conforme Womack (2004), as pessoas estavam se deslocando para as cidades industrializadas, em busca de um padrão de vida que o campo não oferecia. Isso gerou uma escassez da força de trabalho nos campos e o fim absoluto do período feudal. A Manufatura, antes, era vista apenas como um processo feito à mão pelo artesão e conhecida como manufatura artesanal. Mais tarde, com Ricardo (1817) e Marx (1883) é que o trabalho humano industrial ganhou ênfase como conceito de valor.

Ainda conforme Womack (2004), a manufatura artesanal tinha características únicas de força de trabalho qualificada, descentralizada e de baixo volume de produção e passa a ser incorporada nas indústrias e renomeada como manufatura industrial ou manufatura em massa.

Para McCarthy e Fernandes (2000), a produção industrial passa a funcionar como um sistema organizado. A partir da primeira revolução industrial, os elementos fundamentais foram se juntando, sendo esses o próprio homem, as máquinas e os procedimentos de gestão e padronização de processos. A união desses recursos possuía uma única função: a de produzir produtos que pudessem ser vendidos, cobrir os custos de produção e gerar lucros aos seus produtores, ao mesmo tempo em que pudessem satisfazer as necessidades dos que o consomem.

Contudo, cabe ressaltar que o início da fabricação em massa se deu pelas indústrias fabricantes de rifles dos EUA, na metade do século XVIII. Essas organizações começaram a introduzir em sua produção conceitos de intercambialidade de peças, dessa forma a manutenção poderia ser ágil e simples, vindo então, a se consolidar com a *Ford Motors Company* (WOMACK, 2004).

Até que em meados de 1950, (pós-Segunda Guerra Mundial), proveniente do Japão, surge o Sistema Toyota de Produção (TPS). A manufatura em massa passa a ser comparada com a manufatura enxuta (*Lean Manufacturing*) do modelo japonês. Nesse novo processo as características são outras. A ênfase agora está na melhoria contínua das operações por meio da diminuição de desperdícios e retrabalhos, redução de troca de ferramentas das máquinas (*setups*), gestão eficiente de estoques, com a implantação da filosofia *Just in time*, e aumento na variedade de produtos para o cliente final.

Nesse período, a Logística Empresarial ganha impulso como uma ciência responsável pela distribuição de produtos produzidos. Nesse mesmo período, também surge a automação, o termo criado pelo engenheiro da General Motors nos EUA para definir o uso de comandos lógicos e programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir o esforço e a inteligência humana ou então a passagem automática das peças pelas fases consecutivas do processo de produção (LAMB, 2015).

Com surgimento e crescimento da tecnologia da informação, a Manufatura também evolui. Os níveis de integração dentro das indústrias aumentam a produtividade e a eficiência na gestão. A tecnologia da informação, conforme Luftman et. al., (1993), requer o uso de

hardware e software, telecomunicação e automação para fornecer dados para serem transformados em informações que produzam conhecimento.

3.2 MANUFATURA AVANÇADA E A INDÚSTRIA 4.0

A Manufatura Avançada, também conhecida como Tecnologias de Manufatura Avançada (*Advanced Manufacturing Technologies - AMT*), é definida como tecnologias auxiliadas por computadores, envolvendo *hardware* e *software* para armazenar e manipular os dados inseridos e realizados por empresas manufatureiras com intenção de produzir peças, produtos ou equipamentos de forma eficiente e eficaz (SKINNER, 1992; LAMB, 2015).

A Manufatura Avançada é estudada desde a década de 1990 e considerada uma nova maneira de obter vantagem competitiva, pois impacta nos negócios empresariais. Adotar a essa tecnologia potencializa os processos gerenciais da empresa, em particular, pelo volume de dados coletados e que podem gerar informações estratégicas para tomada de decisões (DANGAYACH, 2006).

Conforme o documento da *National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, Washington, DC: Executive Office of the President of The US* (NSTC, 2012), Manufatura Avançada é definida como:

“... uma família de atividades que dependem do uso e coordenação de automação, informação, computação, software, sensores e redes e / ou (b) façam uso de materiais de ponta e capacidades emergentes habilitadas pelas ciências físicas e biológicas, por exemplo, a nanotecnologia, química e biologia. Trata-se de duas maneiras novas para a fabricação de produtos já existentes, bem como para a fabricação de novos produtos surgindo de tecnologias novas e avançadas” (NSTC, 2012).

A visão dos países europeus se aproxima do conceito acima. No relatório da Comissão Especial Europeia (*European Commission*), apresenta-se a definição de sistemas de manufatura avançada como sendo um conjunto de técnicas inovadoras de fabricação e criam novos processos e tecnologias de manufatura.

Sistemas de Manufatura Avançada (AMS) melhoram as operações empresariais, sejam de manufatura ou de informações, reduzindo os custos com desperdício de materiais e aumentando a velocidade de produção, gerando ganhos de produtividade. Esses sistemas

trabalham em conjunto com as Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs), são identificados pelo seu alto grau de automação e modelagem computacional.

Para Slack e Lewis (2009), a Manufatura Avançada classifica-se em três categorias consideradas básicas pelos autores, são elas: (i) Tecnologias de projeto (usadas na fase pré); (ii) Tecnologias de manufatura (fase de confecção); (iii) Tecnologias administrativas (envolvendo informações fundamentais para toda a Cadeia de Suprimentos).

Com a proposta de conectar máquinas, equipamentos, produtos e pessoas, a Manufatura Avançada permitiu uma personalização de produtos – a Customização -, aumento da eficiência na utilização de recursos, diminuição das margens de erros nos pedidos, um melhor controle de matérias-primas, exigindo novas formas de gestão e engenharia em toda a Cadeia de Suprimentos.

A Manufatura Avançada pode ser considerada como a precursora da Indústria 4.0. O termo Quarta Revolução Industrial deu início na Alemanha em 2011 e logo se globalizou. Esse modelo de Revolução Industrial fundiu-se com a Manufatura Avançada, apoiando-se em tecnologias determinantes para o crescimento das indústrias, aumento da produtividade e ganhos em escala (WEBER, 2009).

Quatro razões, no entanto, sustentam a convicção da ocorrência da Quarta Revolução Industrial: velocidade, amplitude e profundidade e por fim um impacto sistêmico (SCHWAB, 2016). Está claro que a velocidade de evolução da atual Indústria 4.0 está além das outras revoluções. Usa-se tecnologia para produzir outras tecnologias, melhores e eficientes. Sua amplitude vai além da tecnologia, hoje as diversas áreas estão se beneficiando dos avanços tecnológicos: as organizações, a sociedade e o homem individual. O seu impacto sistêmico pode acontecer dentro das fronteiras dos países e fora deles, envolvendo empresas, governos e a sociedade.

O economista Brynjolfsson (2015), do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), descreve que a sociedade tem de considerar a forma como a distribuição da prosperidade emergente deverá ser regulada. Schwab (2016) destaca a importância de se pensar nas aplicações e implicações que a Quarta Revolução Industrial já vem causando e ainda pode causar. A urgência dessa preocupação se faz perante a grande necessidade de mão de obra qualificada, que será demandada pela Quarta Revolução Industrial e pela extinção de tantas outras que exigem menos qualificação, corroborando com pensamento de Schumpeter (1954) sobre os estudos da evolução do trabalho.

Para Schumpeter (1954), o trabalho desenvolve-se em ondas sucessivas e vem, de acordo com tal formulação, acompanhado de incessante elevação do nível de vida. Sua história é um processo em constante superação de si mesmo. As ocupações tornam-se obsoletas ou lentas. Por meio do progresso técnico, aumenta a produtividade o que possibilita satisfazer uma demanda com menor quantidade de braços.

De forma menos explícita, o estudo do trabalho de Schumpeter (1882-1950), em seu livro: História da Análise Econômica (*History of Economic Analysis*), publicado pela primeira vez na Inglaterra em 1954, apresentou uma compreensão racional da relação trabalho *versus* desemprego. Conforme o autor, a geração de empregos no mercado é vista como passageira, pois é o resultado constante e ininterrupto de criação-eliminação de empregos.

No encontro do Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum, 2017*), os discursos se concentraram nos impactos da nova revolução industrial, na geração ou extinção de empregos. Ainda foram debatidos assuntos como fatores de mudança na demografia, no comércio local e internacional; aumento da infraestrutura digital; redesenho de Cadeias de Suprimentos Globais e aumento por energia de fontes renováveis e por recursos naturais. Na visão de Schwab (2016), existem três grandes dimensões com tendências fortes de mudanças, são elas: categoria física, categoria digital e categoria biológica.

A categoria física ou tangível são as áreas que apresentam possibilidades de tendência de evolução. São veículos autônomos, Manufatura Aditiva (Impressão 3D), robótica avançada e a pesquisa de engenharia de novos materiais. Na categoria digital, a tecnologia em destaque é a Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*). Produtos conectados gerando informações diversas sobre consumo, preferências e até sugestões de melhoria, podem aumentar a eficiência de toda a Cadeia de Suprimentos.

Por fim, a categoria biológica, com destaque para as áreas de medicina, que vem sendo transformada com apoio das principais tecnologias atuais. A cura de doenças graves, melhoramento significativo no diagnóstico de doenças, inclusive por robôs como o conhecido Watson da IBM, biologia sintética, impressão de tecidos e próteses com uso da Impressão 3D, são ações que já estão acontecendo.

Outro relatório do Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum, 2016*) demonstra que existem 21 pontos de inflexão. Momentos em que certas tecnologias podem se tornar disponíveis para a sociedade comum. O estudo demonstrado na Tabela 1, realizado com 1000 especialistas, apresenta as 12 principais tecnologias, três delas ligadas a Manufatura

Aditiva e uma estimativa de dez anos (até o ano de 2025), para que essas tecnologias industriais estejam disponíveis de maneira comercial.

Tabela 1 - 12 Principais pontos de inflexão esperados até 2025

10% das pessoas com roupas conectadas à internet	91,2%
90% das pessoas com armazenagem de dados ilimitada e gratuita	91,0%
1 trilhão de sensores conectados à internet	89,2%
O primeiro farmacêutico robótico dos EUA	86,5%
Produção do primeiro carro impresso em 3D comercializável*	84,1%
O primeiro celular implantável e disponível de forma comercial	81,7%
5% dos produtos aos consumidores impressos em 3D*	81,1%
90% das pessoas em diversos países com acesso à internet	78,8%
10% dos carros não terão motoristas nos EUA	78,2%
Órgãos impressos em 3D com sucesso em transplantes*	76,4%
30% das auditorias empresariais realizadas por IA	75,4%
50% dos dispositivos domésticos conectados à internet	69,9%

Fonte: adaptado de Schwab (2016)

* Informações relevantes para este trabalho, devido o tema proposto.

O relatório do BCG (*Boston Consulting Group - 2010*) destaca as nove principais tecnologias (pilares) relacionadas à Quarta Revolução Industrial. Elas se apresentam como sendo tecnologias importantes para o ganho de produtividade e de crescimento das indústrias (Quadro 7). Tais tecnologias são:

Quadro 7 - Os nove pilares da Manufatura Avançada

Robôs autônomos	Além das funções atuais, serão capazes de interagir com outras máquinas e com os humanos, tornando-se flexíveis e cooperativos.
Manufatura Aditiva*	Produção de peças, por meio de impressoras 3D, que moldam o produto por meio de adição de matéria-prima, sem o uso de moldes físicos.
Internet das coisas	Conectar máquinas, por meio de sensores e dispositivos, a uma rede de computadores, possibilitando a centralização e a automação do controle e da produção.
Cyber segurança	Meios de comunicação confiáveis e sofisticados. O avanço da inteligência artificial deve diminuir os ataques cibernéticos.
Simulação	Permite que operadores testem e otimizem processos e produtos ainda na fase de concepção, diminuindo os custos e o tempo de criação.
Big data analytics	Identifica falhas nos processos da empresa, ajuda a otimizar a qualidade da produção, economiza energia e torna eficiente a utilização de recursos na produção.
Computação nas nuvens	Banco de dados criado pelo usuário, capaz de ser acessado de qualquer lugar, por meio de uma infinidade de dispositivos conectados à internet.
Sistemas integrados	Sistemas de TI que integram uma cadeia de valor automatizada por meio da digitalização de dados.
Realidade aumentada	Sistemas baseados nesta tecnologia executam uma variedade de serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparação por meio de dispositivos móveis.

Fonte: *Boston Consulting Group* (2014)

*Tema relevante para o trabalho proposto

É preciso estabelecer estratégias de análise das ameaças e oportunidades dessas tecnologias e descobrir como as empresas podem se transformar para atender as necessidades do mercado. Estratégias que vinculem as decisões relacionadas à produção, com a visão da organização a curto, médio e longo prazo, para que não haja perda de competitividade (SKINNER, 1992).

Já em 2018, o Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum, 2018*) abordou novamente assuntos ligados à Manufatura Avançada e à Quarta Revolução Industrial. Os 10 principais economistas do encontro dedicaram mais da metade de seu tempo de apresentação para falar dos desafios das tecnologias da Indústria 4.0. A atenção dada ao assunto demonstra que as mudanças não se restringem a países considerados de primeiro mundo, mas estão perto de ocorrer em nível global. O livro: *Automação & Sociedade: Quarta Revolução Industrial, um olhar para o Brasil* (Brasport, 2018), coordenado por Elcio Silva, Maria Scoton, Sergio Pereira e Eduardo Dias e lançado durante o evento, dedica um capítulo inteiro sobre os impactos da Quarta Revolução Industrial e a Cadeia de Suprimentos 4.0.

3.2.1 Manufatura Avançada na Europa

Na Alemanha, a Manufatura Avançada é tratada como prioridade para que o país possa ser competitivo. O relatório da Academia Alemã de Ciências e Engenharias (*Deutsche Akademie der Technikwissenschaften - ACATECH*), *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* de 2013, estabelece estratégias para o país se tornar o principal fornecedor de tecnologias de produção inteligentes. Integrando a produção com outros países líderes com objetivo de acompanhar tecnologias e gerar padrões. Além dessa iniciativa, há um conjunto de ações de instituições e de empresas que abordam esse tema como prioritário para o país (MCKINSEY, 2016).

A cidade de Dresden, na Alemanha, já é conhecida como a cidade líder em pesquisa sobre Manufatura Aditiva e na melhoria de processos industriais. Um entre dois chips fabricados na Europa saem de Dresden. Além disso, a cidade concentra um alto número de centros de pesquisa governamentais e privados de empresas gigantes como, a Siemens, Rolls Royce e Airbus. Um dos principais projetos desenvolvidos e financiados por essas empresas sobre Manufatura Aditiva é o seu uso em escala de produção industrial, chamado de “*Additive Generative Manufacturing – the 3D Revolution for the Production in Digital Age*” (AGENT-

3D), ou “Manufatura Aditiva Generativa – a revolução 3D para a produção na Era Digital”. Com um orçamento de 90 milhões de euros até 2020.

Um dos recentes estudos sobre o mercado de Manufatura Aditiva aponta que essa tecnologia tem crescido em média 20% ao ano, desde 2004, conforme a empresa de consultoria europeia Roland Berger. No entanto, especialistas chegam a apontar que esse percentual possa chegar a 30% até 2020.

O Instituto de Pesquisa de Cerâmica da Europa – (*Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems - IKTS*), com sede em Dresden, desenvolveu um processo de Impressão 3D flexível para implantes ósseos, próteses dentárias e instrumentos cirúrgicos à base de cálcio. Seu principal benefício está na diminuição da possibilidade de rejeição dos implantes no corpo do paciente. O processo está em fase final dos testes em humanos.

A SLM Solutions também não fica para trás: a companhia é uma das líderes europeias no uso de lasers para a produção de peças de metal, tecnologia que a GE deve incorporar naquelas desenvolvidas pela Arcam. Ambas as companhias têm uma longa história nas indústrias aeroespacial e da saúde, sendo que a SLM, por sua vez, conta com uma série de clientes nas indústrias automotiva e energética da Alemanha.

3.2.2 Manufatura Avançada nos Estados Unidos

Nos EUA, em 2012 foi lançada uma plataforma de trabalho, formada por representantes de empresas, universidades, governo e institutos de pesquisas com intuito de discutir e apresentar propostas e inovações para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no país. Essa iniciativa fortalece o programa de reindustrialização, desenvolvido nas últimas nove décadas nos EUA. Em 2014, o grupo apresentou o “*Report to the President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*”, um relatório que propõe a implementação de um plano estratégico nacional para alavancar a produção no país.

O relatório prevê uma série de medidas para o desenvolvimento das tecnologias associadas à Manufatura Avançada. Os americanos possuem uma vantagem estratégica interessante com o domínio de tecnologias para processar dados em velocidades inimagináveis. Esse fato coloca as empresas americanas à frente das alemãs. Sendo assim, a Alemanha precisa se preparar para que suas indústrias não terminem como uma extensão dominada pelos Estados Unidos (SCHWAB, 2016).

Em 2013, o então ex-presidente Obama fez uma declaração ao inaugurar o Portal Nacional de Manufatura Avançada e o Instituto Nacional de Inovação para a Produção de Aditivos (NAMII) - "*A Impressão 3D tem o potencial de revolucionar a maneira como fazemos quase tudo, (Obama, 2013)* ". O NAMII é composto por vários Institutos de Inovação de Manufatura. Eles possuem uma concentração tecnológica única, mas também é projetado para acelerar a fabricação avançada dos EUA. A rede é projetada para promover a inovação e oferecer novas capacidades, que podem estimular o setor de manufatura em grande escala.

A General Electric, gigante estabelecida nos EUA, é uma das maiores investidoras na tecnologia de Manufatura Aditiva. Recentemente iniciou o processo de aquisição de 1000 impressoras 3D EBM, que deverão estar produzindo peças funcionais em grande escala até 2020. A empresa fez ainda, em 2017, duas novas aquisições de empresas europeias. Um investimento de US\$ 1,4 bilhão para comprar as empresas, Arcam-AB da Suécia e o grupo SLM Solutions, da Alemanha. Ambas são companhias fabricantes de impressoras 3D.

3.2.3 Manufatura Avançada na Ásia

Os países asiáticos também demonstram sério interesse pelo avanço industrial. A China apresentou, em seu 13º Plano Quinquenal (2016-2020), a Manufatura Avançada como um dos seus sete temas emergentes. No Japão, o *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) criou, em 2008, o *Advanced Manufacturing Research Institute* (AMRI), formado por grupos de pesquisadores que têm como objetivo a troca de conhecimento e desenvolvimento de projetos inovadores. Na Coreia do Sul, em 2012, foi criado o *Korean Advanced Manufacturing System* (KAMS), projeto que tem como objetivo desenvolver novos processos e tecnologias para gerenciamento e integração de sistemas manufatureiros. Nas escolas desses países, crianças estão tendo contato com impressoras 3D para desenvolverem ideias e no futuro possam interagir de forma natural com a tecnologia.

3.2.4 Manufatura Avançada no Brasil

No Brasil, a Indústria tem passado por altos e baixos ao longo das últimas décadas. De uma forma geral, os empresários brasileiros são resistentes a testar novas tecnologias, a não ser que tragam resultados em curto ou médio prazo. Especialistas no ramo afirmam que o

caminho ainda é longo para que o Brasil atinja níveis desejados de excelência na produção se comparados com a Alemanha. As empresas brasileiras ainda estão se estruturando com base na terceira revolução industrial (FERRARI, 2016).

É necessário um forte investimento em pesquisa e desenvolvimento para a geração de tecnologias nacionais que possam ser usadas em massa pelas indústrias brasileiras. Em outras palavras, a substituição de máquinas convencionais por máquinas autônomas. Mudanças na legislação trabalhista também são fundamentais para que o processo de industrialização autônoma possa seguir caminho sem os entraves do século XIX.

No entanto, empresas com viés tecnológico e disponibilidade financeira tendem a arriscar e já começam a difundir, mesmo que de forma tímida, vantagens competitivas significativas com a adesão ao modelo de Indústria 4.0, buscando redução de custos e melhorando a produtividade. É necessária rapidez na divulgação das tecnologias, conhecidas como disruptivas, no meio empresarial, para que possam ser disseminadas e adotadas nas indústrias nacionais (Relatório da Confederação Nacional das Indústrias – CNI, 2016).

Segundo o relatório da CNI (2016), os setores brasileiros que demonstram maturidade com a Manufatura Avançada são o automobilístico, eletrodomésticos, alimentos, cosméticos, medicina, arquitetura e engenharia. Sendo o setor automobilístico o mais próximo de entrar de vez na Indústria 4.0, com a introdução de conceitos acontecendo de forma progressiva ao desenvolvimento de novos produtos (RAULINO, 2011). A Manufatura Aditiva é um bom exemplo disso, empresas como a Volvo, Hyundai e Mercedes Bens, 3M, General Eletric (GE), multinacionais com filiais estabelecidas no Brasil, já fazem uso dessa tecnologia buscando um diferencial competitivo no mercado.

No entanto, ainda existe a possibilidade de que o Brasil se torne produtivo, mais rápido do que outros países considerados desenvolvidos. Isso pode ocorrer porque o aprendizado que a Alemanha ganhou ao direcionar sua indústria para Manufatura Avançada pode ser absorvido pelo Brasil. Isso evitaria que erros cometidos pelos empresários alemães fossem cometidos pelos empresários brasileiros. Dessa forma, avançaria em sentido à Indústria 4.0 (SKRABE, 2016).

A velocidade que a Indústria 4.0 exige das empresas, para que elas não fiquem em desvantagem competitiva, no caso de países como o Brasil, pode gerar uma onda de desempregados sem qualificação. De acordo com Celso Skrabe (2016), o Brasil ainda precisa despertar para Indústria 4.0 se quiser ser um país relevante no cenário mundial.

O Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), junto com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), em 2016, solicitaram um estudo realizado em sete estados brasileiros para avaliação das oportunidades, desafios e perspectivas sobre a Manufatura Avançada no Brasil. O referido estudo contou com a participação de 300 especialistas na área de inovação, que elaboraram um documento junto das principais empresas brasileiras que realizam investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), além de diversas associações, federações, institutos de pesquisa e órgãos públicos estaduais e federais.

O estudo mostrou quais as ações o País precisa realizar em curto, médio e longo prazo para se estabelecer uma Política Nacional de Manufatura Avançada. Foram organizados *workshops* em diversos estados brasileiros para buscar opiniões de especialistas (empresas, Instituições de Ciência e Tecnologia – ICTs e diferentes áreas governamentais) para, assim, identificar e mapear quais os principais pilares de suporte e quais os atores relevantes para difusão de novas tecnologias e dessa forma apoiar o avanço de uma Política Nacional voltada para a Manufatura Avançada.

O estudo levou em consideração 13 tecnologias, com potencial de causar significativas mudanças nos processos de manufatura industrial e comercial, sendo elas: Robótica Colaborativa; Transportes Autônomos; Inteligência Artificial; Tecnologia Móvel; *Cloud Computing*; *Big Data*; *Crowdsourcing*; Novas Fontes de Energia; Internet das Coisas; Manufatura Aditiva; Nanotecnologia; Biotecnologia e Genética; Novos Materiais.

Essas tecnologias foram escolhidas com base no relatório alemão sobre a Indústria 4.0 e podem gerar oportunidades sem precedentes para Cadeia Produtiva e de Suprimentos. Para Mckinsey (2016), a Manufatura Avançada possui um potencial enorme de gerar novas tecnologias que causarão impacto significativo na produção, podendo reduzir custos diversos entre 10% a 40% na manutenção de equipamentos, de 10% a 20% no consumo de energia e aumentar a produtividade e eficiência entre 10% a 25%.

Em outro relatório da Confederação Nacional das Indústrias – (CNI), realizado em 2016 em nível nacional e divulgado em 2017, foi apresentada uma pesquisa nacional sobre a adoção de tecnologias voltadas para Manufatura Avançada no Brasil. Segundo a CNI, apenas 48% das empresas no Brasil podem ser consideradas como praticantes da Indústria 4.0, isto é, que praticam pelo menos uma tecnologia associada à Quarta Revolução Industrial.

A pesquisa foi realizada com 2.225 empresas de porte pequeno, médio e grande e identificou pelo menos 10 setores (Tabela 2), relevantes para o avanço da Manufatura Avançada no País e a sua importância como diferencial competitivo na Cadeia de Suprimento industrial.

Tabela 2 - Tecnologias de Manufatura Avançada no Brasil

Setores que usam com frequência	(%)
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos	61
Máquinas, aparelhos e matérias elétricos	60
Derivados de petróleo e biocombustíveis	53
Máquinas e equipamentos	53
Metalurgia	51
Produtos de material plástico	49
Produtos diversos	49
Produtos têxteis	47
Veículos automotores	46
Químicos (exceto HPPC - Sabões, detergentes, produtos de limpeza, cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal)	45

Fonte: Adaptado do relatório da CNI (2016)

Os empresários pesquisados sabem dos benefícios em investimentos de tecnologias digitais. Entre os principais benefícios esperados (Tabela 3), tem-se a redução de custos operacionais com 54%, o aumento da produtividade com 50%, e a otimização dos processos de automação com (35%).

Outro dado interessante se refere à customização de serviços, que está ligado à Manufatura Aditiva (Impressão 3D). Sendo que 24% dos empresários acreditam que desenvolver produtos customizados ou serviços será um grande diferencial competitivo com uso da Manufatura Aditiva.

Tabela 3 - Benefícios esperados ao adotar tecnologias digitais

Estágio	Benefícios	Indústria %
Eficiência	Reduzir custos operacionais*	54
	Aumentar a produtividade	50
	Otimizar os processos de automação	35
	Aumentar a eficiência energética	18
Eficiência/gestão	Melhorar a visualização e controle dos processos (cadeia de valor, produção, etc.)	17
	Melhorar os processos de tomada de decisão	24
Desenvolvimento	Big data/grande coleta de dados	10

Produto	Melhorar a qualidade dos produtos ou serviços	38
	Desenvolver produtos ou serviços customizados*	24
	Criar novos modelos de negócios*	6
Meio ambiente	Melhorar a sustentabilidade	8
Trabalhador	Compensar a falta do trabalhador capacitado	7
	Aumentar a segurança do trabalho	19
	Reduzir as reclamações trabalhistas	4

Fonte: Adaptado do relatório da CNI (2016)

* Informações relevantes para este trabalho devido ao tema proposto.

Quando o estudo analisa o uso da Manufatura Aditiva (Tabela 4) nas empresas de alta intensidade, apenas 9% dessas organizações faz uso dessa tecnologia no Brasil, 20% das indústrias fazem uso da Impressão 3D como diferencial competitivo em parte do processo produtivo. Os especialistas do setor destacam que os números ainda são tímidos, mas com tendências de crescimento para os próximos anos.

Tabela 4 - Uso das tecnologias digitais

Estágio	Tecnologia	Intensidade Tecnológica (%)			
		Alta	Média-alta	Média-baixa	Baixa
Processo	Automação digital sem sensores	12	9	9	8
	Automação digital com sensores	25	23	20	17
	Monitoramento e controle remoto	8	5	5	5
	Linhas flexíveis de automação	12	6	6	6
Desenvolvimento	Sistemas integrados de engenharia	20	21	13	12
	Manufatura Aditiva/Impressão 3D*	9	5	4	2
	Simulações/modelos virtuais	3	10	3	2
Produtos/novos modelos de negócios	Big data/grande coleta de dados	8	7	8	6
	Serviços em nuvem	8	6	4	5
	Internet das coisas	9	4	4	3

Fonte: Adaptado do relatório da CNI (2016)

* Informação relevante para este trabalho devido ao tema proposto.

Existem barreiras internas e externas que impedem o aumento desses índices: desconhecimento da tecnologia por parte de empresários; falta de uma política estratégica na empresa e de priorizar investimentos em tecnologia da informação; falta de mão de obra capacitada; relação custo *versus* benefício, direitos autorais e de patentes, inviáveis para novas tecnologias como a Manufatura Aditiva.

3.3 MANUFATURA ADITIVA

Os processos de fabricação atual podem ser divididos em: Manufatura Subtrativa, Formativa e Aditiva. Manufatura subtrativa e formativa são aquelas convencionais como, por exemplo, torneamento e forjamento, respectivamente.

Segundo Beaman (1997), o uso da construção de objetos físicos por camada remonta às técnicas antigas de topografia e fotoescultura. O uso da topografia aconteceu por volta de 1890, quando Blather, para facilitar a visualização de mapas de relevo topográfico, criou moldes com diversos discos de cera sobrepostos, criando uma superfície tridimensional.

Nas décadas seguintes, devido a recursos escassos, o processo não passou por mudanças significativas. Até que em 1951, o pesquisador J. O. Munz desenvolveu uma técnica utilizando duas áreas - topografia e fotoescultura - projetando uma máquina que pode ser considerada a precursora da técnica de Estereolitografia (NASCIMENTO, 2013). O processo consistia em um sistema com exposição seletiva de seções transversais do objeto a ser criado. Ao fim de uma camada, a mesa era baixada e uma próxima camada era produzida, até a conclusão da peça final.

Já o modelo de fotoescultura foi proposto em 1972 por Matsubara, que utilizou uma resina fotopolimerizável. Ao ser aplicada em uma superfície, a resina recebia uma fonte de luz à base de mercúrio para seu endurecimento, outra camada era sobreposta e recebendo a fonte de luz, sucessivas vezes até que o modelo proposto ficasse pronto.

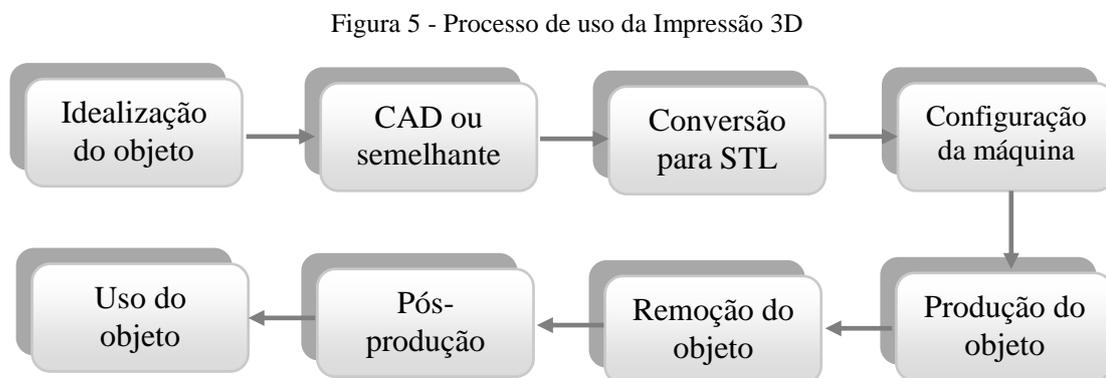
Em 2015, na intenção de fornecer um entendimento básico dos princípios fundamentais para os processos de fabricação de aditivos e dar definições claras de termos e nomenclatura associados à Tecnologia de Manufatura Aditiva foi criado a ISO/ASTM 52900:2015 que estabelece o conceito dessa tecnologia. Ao padronizar as terminologias de fabricação de aditivos, facilita-se a comunicação entre pesquisadores, empresas e pessoas comuns envolvidas com a tecnologia em qualquer lugar.

Para ASTM (*Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*) e para os autores como Gibson, Rosen e Strucker (2009), a Manufatura Aditiva (MA) é um processo de fabricação ou junção de materiais baseado na adição de material único ou diverso, camada por camada, isto é, estratificação e sobreposição de camadas para produzir produtos simples ou complexos ou para fazer prototipagem de forma econômica, se contrapondo aos processos formativos e subtrativos. Assumindo os sinônimos mostrados no Quadro 4 do trabalho.

Conforme Volpato (2007), a produção de um objeto na Manufatura Aditiva começa com a criação do modelo do objeto em um sistema CAD (*Computer Aided Design*) ou similar (*3DStudio Max, Alibre, AutoCAD, Autodesk Inventor, CADKEY, DataCAD, Deskartes-3D Data Expert, Google Sketchup, Iron CAD, Mechanical Desktop, Pro/E, Revit, Rhino, SolidEdge, SolidWorks, UGS NX6, Unigraphics, CATIA V5* entre outros). Após esse processo, ele é fatiado de maneira eletrônica cujas curvas de níveis são postas em 3D, camada por camada, por meio do processo de empilhamento sequencial.

Com os avanços tecnológicos e o crescimento da Manufatura Avançada, a Manufatura Aditiva ganhou força e um pilar de destaque na Quarta Revolução Industrial. O responsável pelo seu crescimento nesses últimos 20 anos é o Engenheiro Chuck Hull que, em 1984, frustrado com a demora na produção de pequenas peças plásticas que levavam até dois meses para serem fabricadas e entregues, teve a ideia de criar a primeira versão moderna da impressora 3D (WISHBOX, 2016).

Conforme Gibson, Rosen e Stucker (2009), boa parte dos processos de Manufatura Aditiva seguem as etapas da Figura 5:



Fonte: Adaptado de Gibson; Rosen e Stucker, 2009

O primeiro passo descrito pelos autores se refere à idealização do objeto. É necessário que os detalhes da peça sejam pensados para facilitar o desenho no sistema computadorizado. Um esboço em papel pode ajudar na idealização quando o usuário do sistema não é o mesmo que idealiza o objeto.

Segundo passo é realizar o modelo no plano virtual, utilizando um sistema CAD (*Computer Aided Design*) desenho assistido por computador. O CAD é um dos softwares bem conhecidos. No entanto, é possível utilizar um sistema semelhante.

Terceiro passo conforme Chua, Leong e Lim (2003) é transformar o arquivo em STL, o formato do arquivo em STL foi desenvolvido em 1988, pela Albert Consulting Group para empresa 3D Systems (EUA). A sigla STL é o formato padrão de arquivos utilizados por sistemas de Impressão 3D em estereolitografia, sendo uma representação triangular de um modelo 3D/CAD. A principal característica desse formato é representar modelos tridimensionais através de uma lista de triângulos irregulares que formam uma malha, recobrando as superfícies de um objeto. É hoje o formato padrão para a indústria de Manufatura Aditiva e disponível nos sistemas CAD ou sistemas similares. Esse sistema e formato realiza a representação numérica e cartesiana dos eixos (x, y, z) nos vértices de um triângulo (VOLPATO, 2007).

No quarto passo, uma vez finalizado o modelo virtual, realiza-se a configuração da máquina. A calibração da impressora requer atenção dos usuários, as máquinas têm suas características e especificações e apresentam anomalias que podem ocorrer durante a Impressão 3D. Assim, como em uma linha de produção, as primeiras peças produzidas do dia são para averiguar a calibração das máquinas. Na Impressão 3D não é raro que as primeiras peças sirvam para o mesmo propósito.

O quinto passo é o momento da produção do objeto. Apesar de a tecnologia de Impressão 3D também ser conhecida como prototipagem rápida ou manufatura rápida, o processo dessa tecnologia ainda não acontece em uma velocidade considerada rápida. Dependendo das características da peça, da sua complexidade e do seu tamanho, o processo pode levar horas. Existem diversos equipamentos de Impressão 3D disponíveis no mercado, com tecnologia considerada lenta ou rápida e utilizando o mesmo tipo de material. Dependendo do tipo de matéria prima usada, não se recomenda realizar a impressão em ambiente fechado devido ao forte odor das matérias primas usadas.

O sexto passo é a remoção do objeto da bandeja, que requer cuidados com a segurança do usuário, pois algumas partes podem estar com a temperatura elevada. Certos tipos de impressão como, por exemplo, o FDM (modelagem por fusão e deposição), requerem suportes extras na impressão dos objetos que possuem grandes extremidades, já que a camada de deposição precisa ter uma base para ser formada.

O sétimo passo se refere à remoção dos excessos da produção. Existem tecnologias que exigem um aprimoramento após a produção, como a retirada dos suportes, rebarbas ou sobras. Existem produtos que podem ser lixados ou ainda receber uma camada de tinta ou outro produto líquido para dar brilho, resistência ou flexibilidade. Existem produtos que não necessitam de acabamento ou suporte para serem produzidos, vai depender do tipo de tecnologia que será usada para a produção.

Por fim, o oitavo passo deve ser o uso do objeto, peça ou equipamento. O objeto pode ser um protótipo complexo, uma peça funcional industrial, ou, ainda, um objeto comercializável vendido como brinquedo, decoração, utensílio, etc.

3.4 PRINCIPAIS PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA

Para Goldsberry (2009), a classificação que diferencia os tipos de Manufatura Aditiva pode ser representada em três categorias básicas (líquida, sólida e pó). Já as subcategorias podem ser mais diversificadas, uma vez que existem pesquisas de diversos laboratórios desenvolvendo novos materiais para serem usados em máquinas de Impressão 3D (VOLPATO, 2007; GUO E LEU, 2013). O Quadro 8 mostra um resumo das principais classificações e suas subcategorias mais básicas de Impressão 3D:

Quadro 8 - Principais processos de Manufatura Aditiva

Princípio Funcional	Sigla	Nome	Materiais	Principal/Principais Fabricantes
Extrusão direta	FDM	<i>Fused deposition modeling (FDM)</i>	Termoplásticos (vários), materiais comestíveis, orgânicos, outros	STRATASYS Inc.
Fusão de Material por Laser/Feixe	DMLS	<i>Direct metal laser sintering (DMLS)</i>	Quase qualquer liga de metal	EOS GmbH
	EBM	<i>Electron-Beam Melting</i>	Quase qualquer liga de metal	Arcam AB
	SLM	<i>Selective Laser Melting</i>	Quase qualquer liga de metal	SLM Solutions GmbH / Realizer GmbH
	SHS	<i>Selective Heat Sintering</i>	Pó termoplástico	Blueprinter ApS
	SLS	<i>Selective Laser</i>	Termoplásticos,	EOS GmbH

		<i>Sintering</i>	cerâmicas e metais em pó	
Impressão Líquida sobre Pó	3DPP	<i>Plaster-based 3D Printing</i>	Pó de Gesso	Z-Corp, hoje parte da 3D Systems
Adesão e Laminação	LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>	Papel colado, filme plástico	MCor
Polimerização por Luz	Polyjet	<i>PolyJet</i>	Fotopolímero com cura UV	STRATASYS Inc.
	SLA	<i>Estereolitografia</i>	Fotopolímero com cura UV	3D Systems
Composição Química da Areia	D-Shape	<i>D-Shape</i>	Areia ou outra base sólida + sais / cloreto de Magnésio	D-Shape

Fonte: Adaptado de Gibson (2010)

Na sequência são descritos os princípios de funcionamento dos principais processos, suas vantagens e desvantagens.

3.4.1 Processo de estereolitografia (SL)

A estereolitografia (*stereolithography* – STL) ou (*stereolithography* – SLA), cujo significado é *stereolithography Apparatus*, termo dado para equipamentos ou aparatos de estereolitografia. É um processo baseado em líquido, antes de ser processado (VOLPATO, 2007). É reconhecido como o primeiro a ser disponibilizado de forma comercial, em 1988. Seu princípio básico está na utilização de uma resina líquida fotocurável, passando do estado líquido para o sólido através da aplicação de laser UV (ultravioleta). Uma vez que o laser é direcionado pela impressora que recebeu o comando de imprimir o arquivo CAD ou similar, forma-se uma camada sólida, sendo a primeira base do objeto (GOTHAIT, 2000; RODRIGUES E NEUMANN, 2003; VANDRESEN, 2004; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

Segundo Volpato (2007), esse processo apresenta as seguintes vantagens: possui assistência em boa parte dos países; possui boa precisão de impressão sendo uma das tecnologias preferidas em aplicações específicas e uma elevada qualidade de impressão final. Já as suas desvantagens estão na necessidade de pós-processamento para remoção de suportes e resina não curada; utilização de pós-cura nas peças, o que significa que o usuário precisa adquirir um forno UV; restrição com a diversificação da matéria prima para apenas resinas poliméricas; a matéria prima é considerada tóxica ao operador, não podendo ser usada em ambientes fechados e requer cuidados (SOUZA, et. al., 2004; VOLPATO, 2007; GIBSON 2009).

3.4.2 Processo de jato de tinta (IJP)

Esse princípio consiste na criação das camadas por deposição seletiva de gotas de material fotocurável (resina) em estado líquido, para construção do objeto e outro material em gel por meio do cabeçote jato de tinta térmico ao longo dos eixos X e Y.

Após a finalização de uma camada, a plataforma se desloca para o eixo Z (para baixo), iniciando uma nova camada nos eixos X e Y até que a peça esteja pronta. O processo de solidificação é a aplicação de uma fonte de luz UV (GOTHAIT, 2000; RODRIGUES E NEUMANN, 2003; VANDRESEN, et. al., 2004; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

Conforme Volpato (2007), essa tecnologia utiliza os seguintes materiais para fabricação (a base de cera, acrílatos, epóxis e termoplásticos), o suporte também é foto/termo curável, no entanto é removível sem esforço com água misturada a um componente proprietário. Nessa fase a resina é curada no processo de impressão não necessitando de uma pós-cura em forno, como acontece com a estereolitografia. Essa tecnologia apresenta dois processos de solidificação, podendo ser fotopolimerização e termopolimerização.

3.4.3 Processo de modelagem por fusão e deposição (FDM)

O uso da tecnologia FDM (*Fused Deposition Modelling*) é comum nas impressoras 3D, de uso doméstico ou comercial. O equipamento bem como a matéria prima é de baixo custo e disponíveis em fornecedores de suprimento para esse tipo de impressora. Seu processo resulta na fundição e deposição desse material, um termoplástico ejetado através de um cabeçote extrusor. A impressora se desloca nos eixos X e Y, colocando o filamento derretido camada sobre camada. Após o processo nesses eixos, a impressora se desloca para o eixo Z, ou seja, de cima para baixo e reiniciando o processo de colocação de uma camada da peça, até que ela esteja finalizada (GOTHAIT, 2000; RODRIGUES E NEUMANN, 2003; VANDRESEN, 2004; SOUZA, 2004; MENEZES, 2004; LIOU, 2007; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

A tecnologia FDM foi desenvolvida e patenteada em 1989 por Scott Crump, fundador da empresa Stratasys dos EUA. É difícil de relacionar quais empresas comercializam equipamentos de Impressão 3D, pois existem diversas empresas de pequeno porte e com boa qualidade de impressão em FDM. O mercado apresenta diversos tipos de filamentos para diversas finalidades, em diversas cores (LIOU, 2007; GIBSON, 2009).

3.4.4 Processos à base de sólido laminado (LOM)

Os processos à base de sólido laminado utilizam o mesmo princípio de adição de material por pilhagem. Conhecida como *Laminated Objet Modelling* (LOM), consiste no corte de papel e posterior colagem do mesmo. As camadas são empilhadas uma a uma e coladas com cola térmica, até que o objeto crie forma e até ser finalizado. Os eixos de movimento são os mesmos x, y e z (GIBSON, 2009).

Conforme Gibson (2009), o processo pode utilizar duas ordens de colagem, sendo o primeiro o de cola-corte e o segundo o de corte-cola, porém utilizam papel como matéria prima principal, sendo o processo de corte-cola estável e de melhor aderência no momento do corte (MORITA E SUGIYAMA, 2000; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

As vantagens desse processo está na não necessidade de pós-cura dos materiais, não necessita de suporte em regiões não conectadas, a velocidade de fabricação é alta, pois o laser não varre a superfície da seção transversal em todas as camadas. No entanto, existem materiais disponíveis para obtenção de protótipos, que possuem baixa flexibilidade e quase não são usados para objetos que requerem detalhes (VOLPATO, 2007).

Existem tecnologias nas quais são utilizadas chapas de metal ou de cerâmica, que são menos comuns. Nessa tecnologia, utiliza-se o processo de CNC e laser para corte das chapas e sua fixação é feita através de pinos. Em seguida a peça é colocada em um forno, para brasagem e finalização do objeto (VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

3.4.5 Processo de sintetização seletiva a laser (SLS)

No processo de SLS (*Selective Laser Sintering*), utiliza-se o laser e matéria prima em pó para sintetização e confecção de objetos 3D. As camadas são formadas por meio de fusão do pó metálico, cerâmica ou polimérico, utilizando um laser e obedecendo aos mesmos princípios dos eixos x, y e z camada por camada. Essa tecnologia teve seu desenvolvimento na Universidade do Texas em Austin, EUA ainda na década de 1980 (LIOU, 2007; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

A construção do objeto se inicia com material em pó sendo colocado e nivelado por um rolo na câmara de modelagem, sobre uma plataforma. Nessa fase a câmara passa a ser aquecida a uma temperatura quase de fusão e mantida em atmosfera inerte e controlada por

nitrogênio, para evitar a oxidação e risco de explosão das partículas finas. O feixe de laser então realiza a varredura sobre a superfície do material espalhado nos eixos x e y criando a sintetização ou dependendo do processo, a fusão do material particulado criando a primeira camada, logo a pós, a plataforma se movimenta no z (para baixo) e o processo de uma nova camada se inicia. Esse processo vai sendo repetido até a finalização do objeto (VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009).

O laser CO₂ é indicado para impressão SLS, sendo que sua potência pode variar entre (25 a 100 w), de acordo com o material e marca do equipamento. Existem processos em SLS em que o pó utilizado é levado ao ponto de fusão pela incidência do laser e aderindo à camada anterior para formação do objeto (VOLPATO, 2007).

O material em pó de suprimento fica armazenado em um reservatório lateral à câmara de confecção do objeto. Esse reservatório realiza o processo inverso no eixo z da câmara de fabricação, conforme o objeto é formado o reservatório sobe e o rolo alimenta a câmara com uma camada de matéria prima.

Esse processo, como os demais, requer acabamento no pós-processamento, mas nesse tipo de tecnologia o destaque está na diversidade da possibilidade de utilizar diversos tipos de matéria prima de ouro a bronze, ou outros tipos de metais como ferro, aço ou liga especial. Ainda pode ser utilizado vidro, náilon, poliamida, cerâmica. Essa técnica é utilizada em joalherias para fabricação de joias com geometrias complexas. As peças possuem a característica de serem porosas, o que as torna leves e resistentes. A sobra do material não utilizado é retirada e pode ser reutilizada dentro de um limite, pois se degrada com o tempo (LIOU, 2007; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2009; GIBSON, 2014).

Como os outros, esse processo apresenta vantagens e desvantagens. Vantagens: o uso de materiais não tóxicos; um único equipamento pode processar diversos tipos de matéria prima; pode ser usado para fabricação de protótipos como na confecção de peças funcionais; exige um baixo pós-processamento; não necessita de pós-cura do material sintetizado (VOLPATO, 2007).

Ainda conforme o mesmo autor, as desvantagens são: as peças ao final do processo de impressão tendem a ter um acabamento razoável, requerendo pós-processamento; equipamento com custo elevado; consumo elevado de energia. Dentro da categoria de impressão a laser, apresenta-se o processo de sintetização pelo sistema EOSINT. Nessa tecnologia, o processo é bem próximo do sistema SLS, sua diferença básica está no

equipamento, cuja máquina não necessita de suprimento de matéria prima acoplada à câmara de confecção do objeto. O material é depositado sobre a plataforma de construção sem a necessidade de um rolo para espalhar o pó (LIOU, 2007; VOLPATO, 2007).

O processo é realizado dentro de uma câmara com atmosfera controlada, com baixa pressão e utilizando gás argônio, evitando a oxidação do material pelo oxigênio. Em geral, as peças precisam de acabamento final após a impressão, mas apresentam uma boa resistência mecânica e solidez, não necessitando de pós-processamento em forno. As matérias primas disponíveis são: aço inox, titânio, aço ferramenta H13, sua desvantagem está no alto consumo de energia. Os equipamentos só podem ser usados para confecção de peças metálicas, acabamento razoável na superfície (VOLPATO, 2007).

3.4.6 Processo de impressão tridimensional (3DP)

De acordo com Gibson (2009), a tecnologia (3DP) não utiliza laser para confecção dos objetos, mas um aglutinador que é depositado em processo de gotas sobre a superfície onde se encontra o pó (cerâmica, gesso, zinco, alumínio, magnésio, aço inox, cobre, bronze, etc.). Esse aglutinante é depositado por impressão tipo jato de tinta. Após a primeira camada ser formada nos mesmos moldes de eixo x, y e z, um rolo espalha o pó sobre a mesa e as etapas reiniciam.

Nesse processo, não é necessária a utilização de suporte, pois a própria matéria prima é utilizada para esse fim. A impressão de várias peças ao mesmo tempo utilizando o mesmo material é um diferencial das demais impressões, limitado apenas ao tamanho da plataforma de construção.

Outra vantagem está na utilização de matéria prima diversa para construção dos objetos, o equipamento aceita quase dos os tipos de material em pó, contudo existe um aglutinante para um tipo de matéria prima, podendo ainda ser acrescido de resina epóxi para aumentar a resistência do objeto ou, ainda, acrescentar um infiltrante à base de uretano para tornar o protótipo flexível como se fosse uma borracha. Esse processo é realizado no pós-processamento (LIOU, 2007; VOLPATO, 2007; GIBSON, 2014).

O serviço de pós-processamento é uma das desvantagens do processo, para aumentar a resistência da peça, podendo variar de acordo com o material usado para fabricação da peça, além do acabamento ser considerado satisfatório para aplicações menos exigentes.

O processo não utiliza laser o que reduz o consumo de energia e riscos de acidentes. Esse Processo de Impressão 3D é considerado rápido no mercado e quase não existe desperdício de matéria prima, além de ser uma das tecnologias que apresenta a opção de impressão colorida de objetos.

De forma geral, os Processos de Fabricação 3D ou Manufatura Aditiva, apresentam características diferentes e únicas relacionadas ao equipamento utilizado e à tecnologia pertencente a ele, ficando a critério do usuário a melhor opção para fabricação dos objetos e como ele está disposto a investir. Apresentou-se, apenas uma pequena parcela das opções de Impressão 3D existentes no mercado, com a dinâmica do mercado, essas máquinas ainda estão em constante processo de melhoria nas universidades e centros de pesquisa, mas até o momento, boa parte delas utilizam os mesmos princípios mostrados nesse trabalho, além das impressoras que são feitas em domicílio pelo próprio usuário.

CAPÍTULO 4 – REVISÃO DA LITERATURA DA MANUFATURA ADITIVA NA GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Nesse Capítulo, são apresentados os principais conceitos de Logística, Cadeia de Suprimentos e Redes de Suprimentos, bem como a evolução desses conceitos ao longo dos tempos. Esses conceitos também serviram de apoio para a discussão das dimensões a serem estudadas e dos principais usos e aplicações da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos e como essa tecnologia tem se relacionado e se destacado com os elos integradores da Cadeia de Suprimentos.

4.1 LOGÍSTICA

A Conferência Nacional de Distribuição realizada na Câmara de Comércio dos Estados Unidos, em 1925, discutiu, pela primeira vez, o termo Distribuição. Apesar de não terem chegado a um consenso, foi considerado um marco para o estudo da Logística. Para os conferencistas, o termo significava apenas varejo, porém, para outros, significava transporte, venda e publicidade. Em 1927, Borsodi lança um livro denominado: *The Distribution Age*, um dos primeiros livros a falar de distribuição e suas variáveis.

Em seu livro, Borsodi (1927) apresenta o que possa ser o primeiro conceito de distribuição:

Distribuição física é parte do processo completo que é envolvido no transporte e armazenagem de mercadorias dos locais de produção para os locais onde devem ser consumidos e/ou armazenados, mas também pode ser vista como uma atividade de Marketing (BORSODI, 1927).

Uma das vertentes da origem da palavra Logística e presente nas literaturas da área vem do francês, oriundo do verbo *loger* que significa alojar (FERREIRA & ALVES, 2005; DE OLIVEIRA & CÂNDIDO, 2006). Já segundo Neves (2005), a origem da palavra

Logística vem do grego *LOGISTIKOS*, derivado do latim *LOGISTICUS*, ambos significando cálculo e raciocínio no sentido matemático. Tendo que se diferenciar do meio militar e se adaptar aos negócios empresariais, a Logística ganha um novo sentido e um agregado ao seu nome, passando a se chamar Logística Empresarial.

Para Ballou (1993), a Logística Empresarial estuda como a administração pode melhorar os níveis de rentabilidade nos serviços de distribuição de mercadorias, satisfazendo assim clientes e consumidores. O estudo da Logística Empresarial tem a função de realizar um planejamento detalhado de atividades a serem desempenhadas, organização e controles de forma efetiva para as atividades de movimentação e armazenagem de produtos, melhorando o desempenho das empresas.

Conforme Fleury (2000), em meados de 1960, as organizações existentes da época começam a trabalhar de forma integrada, dando importância para as várias etapas executadas e administradas pela Logística, aumentando a visão de ambiente sistêmico das empresas. Foi também nesse período que surgiu a primeira associação de profissionais e pensadores acadêmicos do setor, intitulada *National Council of Physical Distribution Management* – NCPDM. Esse mesmo conselho traz um dos primeiros conceitos aceitos para a palavra Logística:

“Logística consiste das atividades associadas à movimentação eficiente de produtos acabados, desde o final da linha de produção até o consumidor, e inclui a movimentação de matéria-prima da fonte de suprimentos até o início da linha de produção. As atividades incluem o transporte, a armazenagem, o manuseio dos materiais, o empacotamento, o controle de estoques, a escolha da localização de plantas e armazéns, o processamento de ordens, as previsões de ordens e os serviços aos clientes” (NCPDM, 1962).

Conforme Bowersox (1996), na década de 1970, a Logística Empresarial entra em estado de semimaturidade, iniciando seus processos de diferenciação estratégica nas empresas de forma atuante. Ao se destacar como diferencial competitivo nas organizações, essa Logística apresenta novos e aprofundados estudos.

Em 1980, o próprio *National Council of Physical Distribution Management* – NCPDM altera sua nomenclatura para *Council of Logistics Management* – CLM (Conselho de Gestão Logística). Nesse período, a Logística incorpora uma nova preocupação - o cliente, e ganha uma nova definição para o termo:

“Logística é o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo e estocagem dos materiais, do inventário de materiais em processo de fabricação, das mercadorias acabadas e correspondentes informações, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com a finalidade de ajustar às necessidades do cliente” (CLM, 1986).

Todavia, ainda era necessário melhorar a integração dos processos logísticos para se obtivessem vantagens competitivas. Com o aumento da competitividade empresarial em nível local e global, o *Council of Logistics Management* redefine o conceito de Logística, dando uma nova característica para as atividades gerenciadas pelas organizações, passando a se chamar *Supply Chain Management – SCM* (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos).

Para Moller & Johansen (1992), a Logística apresenta outra perspectiva junto ao ambiente organizacional. Os autores destacam as subdivisões evolutivas da Logística ao longo das décadas, contudo com foco industrial. Faria (2003) relaciona essas etapas evolutivas em uma ordem cronológica, cujo foco passa de interno para externo (Quadro 9).

Quadro 9 - Evolução do foco da Logística

1950 a 1960	1970 a 1980	2000...
Previsão de demanda Compras Embalagem industrial Manuseio industrial Armazenagem Planejamento de requisições Planejamento de produção Estoques em trânsito Estoques de produto acabado Planejamento da distribuição Processamento de ordens Transporte Serviço ao cliente	Gerenciamento de materiais Controle da produção	Logística Integrada
Estágio Inicial	Integração funcional e interna	Integração externa

Fonte: adaptado de Faria (2003)

Estudada pelas áreas da Administração e da Engenharia de Produção, a Cadeia de Suprimentos apresenta uma visão mais integrada do que a Logística Empresarial. O conceito de Logística passa, então, a limitar-se à obtenção e movimentação de materiais e ao transporte relacionado à distribuição física de produtos (BERTAGLIA, 2009).

4.2 CADEIA DE SUPRIMENTOS

Com o avanço da Globalização, as empresas passaram a ter acesso a outros mercados fornecedores e compradores de forma rápida, aumentando as exigências por qualidade e preço. A Gestão da Cadeia de Suprimentos passa a ser o novo diferencial na competitividade empresarial.

O *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, ou Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos, apresenta a Logística como uma parte importante da Gestão da Cadeia de Suprimentos. A Gestão da Cadeia de Suprimentos, por sua vez, é responsável por planejar, implementar e controlar o fluxo e armazenagem eficiente e econômica de matérias-primas, materiais semiacabados e produtos acabados e pela gestão das informações e do fluxo financeiro, desde a origem do fornecedor até o cliente final. Também é responsável pelo retorno de produtos e resíduos descartados pelas organizações, clientes e consumidores.

Para Bowersox e Closs (2001), a importância da Gestão da Cadeia de Suprimentos está no compartilhamento de informações que, por consequência, estimula o planejamento a ser eficiente, reduzindo riscos individuais, perdas e maximizando recursos. Os autores ainda destacam que a Logística trabalha para que a Gestão da Cadeia de Suprimentos possa focar nos agentes do processo, buscando o atendimento e a satisfação do cliente final diante das suas necessidades de consumo e por meio de uma resposta rápida, com qualidade e um custo justo.

Assim, a Gestão da Cadeia de Suprimentos busca uma sincronia de atividades, que se inicia na demanda do cliente final, perpetuando pelos meios de produção até os fornecedores de matérias primas e retornando até chegar ao cliente final e, desse, retornando através da Logística Reversa. Dessa forma, a Cadeia de Suprimentos deveria trabalhar de forma integrada. No entanto, diante das incertezas e variabilidades que o mercado sofre, e a falta de um sistema único que possa levar a informação de forma fiel e rápida aos atores da cadeia, essa sincronia acaba por não ser perfeita.

Para Slack (2009), a Gestão da Cadeia de Suprimentos possui uma abrangência holística, indo além das fronteiras da organização. O cliente é o responsável pela movimentação dos atores de uma cadeia de suprimento, por isso o foco da gestão e a tomada de decisões estão voltados para ele. No entanto, os diversos fluxos existentes em uma cadeia

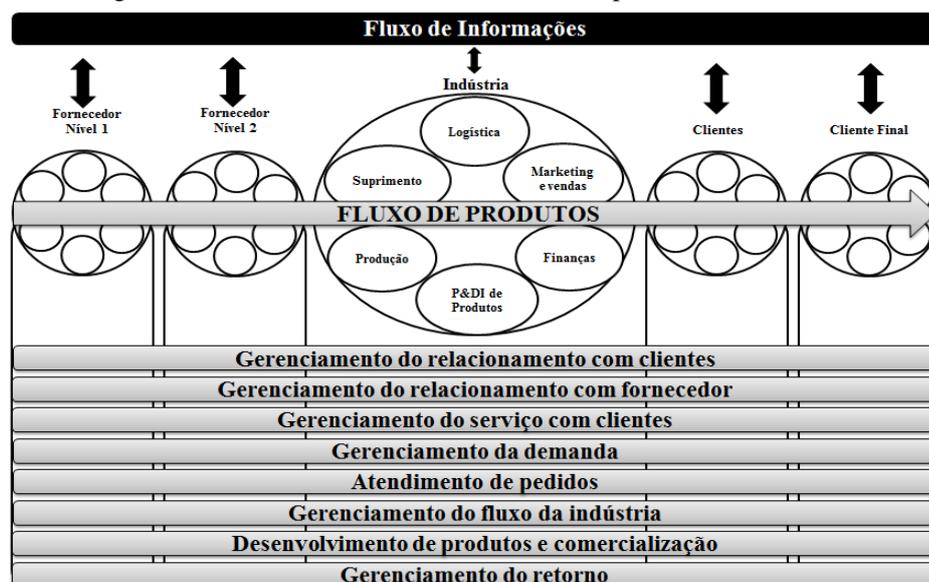
precisam ser bem gerenciados para que a organização tenha sucesso e possa atender as demandas geradas.

Conforme Lambert, et al., (1998), as diferentes definições encontradas sobre Gestão da Cadeia de Suprimentos surgiram em um período de 20 anos, se restringindo a um processo integrado da produção de diversos agentes (outras empresas). Conforme as pesquisas na área foram avançando, o conceito de Gestão da Cadeia de Suprimentos foi ganhando robustez e o assunto se tornou conhecido e amplo até as recentes definições do *Council of Supply Chain Management Professionals – CSCMP*.

Supply Chain Management System: “é a integração dos principais processos de negócios de uma rede de empresas, desde o usuário final até os fornecedores originais; esses oferecem produtos, serviços e informações que agregam valor para os clientes e outras partes interessadas” (LAMBERT, COOPER, 2010).

O fato é que as empresas não são sistemas fechados e precisam interagir com outras organizações. Na Figura 6, está representado um modelo de Gestão da Cadeia de Suprimentos, proposto pela *Global Supply Chain Fórum - GSCF* (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998). Nesse modelo é possível identificarmos os processos chaves que formam a base do gerenciamento da Cadeia de Suprimento, dando uma abrangência real de seus diversos fluxos de gestão e a importância do gerenciamento eficiente dos recursos, envolvidos para satisfação dos clientes.

Figura 6 - Visão de uma Gestão da Cadeia de Suprimento e seus fluxos



Fonte: Adaptado de Lambert, 1998

Os estudos demonstram que é possível perceber a existência de vários entrelaçamentos entre várias Cadeias de Suprimento. Existe, por assim dizer, um emaranhado de empresas responsáveis por fornecer diversos tipos de suprimentos às outras empresas envolvidas e vice-versa. Formando, portanto, uma rede de suprimentos, por vezes complexa e sensível às variações do mercado e da economia (CORRÊA, 2010).

4.3 REDE DE SUPRIMENTOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Conforme Corrêa (2010), a Gestão de Rede de Suprimento é a administração integrada dos processos principais de negócios envolvidos com fluxos físicos, financeiros e de informações, englobando os fornecedores de insumos básicos, até o cliente final. Esse processo visa agregar valor não apenas para o cliente final, mas para os atores da cadeia classificados como clientes intermediários, além dos grupos que possuem interesse para a Rede de Suprimentos como acionistas, funcionários, gestores, comunidade e governo.

Esse conceito traz uma abrangência para o estudo, e uma nova evolução da Gestão de Cadeias de Suprimentos. Pode-se, então, definir que a Rede de Suprimento é, na verdade, um entrelaçamento de várias Cadeias de Suprimentos que necessitam de uma eficiente gestão operacional, tática e estratégica.

Ainda conforme Corrêa e Corrêa (2010), essa visibilidade se justifica pela crescente evolução da tecnologia nesses últimos anos. Entretanto, ao mesmo tempo em que isso é um benefício para as empresas, pode ser tornar uma desvantagem. A dificuldade de acompanhar os avanços tecnológicos, manterem os processos e as máquinas atualizadas tem seu custo e as empresas têm recursos limitados de investimento.

Quando se explora o conceito de Rede de Suprimentos, seu desenvolvimento surge de uma necessidade de melhorar a gestão da distribuição física de produtos. Ela permite que agentes ganhem de forma colaborativa, em vez da tradicional abordagem conflituosa, sendo que, para um membro da rede ganhar, outro tem que perder (CORRÊA, 2010). Sendo a distribuição um foco na redução de custos operacionais, há uma forte necessidade de integração para melhorar os fluxos existentes.

Para que as empresas se tornem eficientes em seus processos logísticos e possam melhorar a Gestão da Cadeia de Suprimento, é necessário o envolvimento de outras áreas que possam ajudar na gestão de informações gerenciais. A Tecnologia da Informação (TI), ao

mesmo tempo em que evolui em velocidade, armazenamento e difusão das informações com a internet, passa a ser uma aliada importante na busca dos objetivos organizacionais.

O número de fluxos de informação, financeiro e de materiais aumenta com passar dos anos. Parte, devido ao cenário de globalização que vem crescendo, despertando uma necessidade de processamento dentro das empresas. Para Kelly (2003), as interligações entre a informação e as cadeias de economia globalizada desperta novas capacidades humanas de agir, gerando ideias e inovações com o aumento do conhecimento devido à propagação da informação.

É fato que o cenário econômico se apresenta como um ambiente volátil e sensível às variações de demanda e crises como guerras, política e economia. Inovações tecnológicas, também podem afetar as decisões empresarias e dificultar a capacidade das empresas de se manterem em equilíbrio, precisando se adequar ou investir para se manter competitivo no mercado.

A era da informação não integrou apenas as pessoas, mas processos e empresas de forma globalizada. A criação de novos softwares de gestão, controle de distribuição e de pedidos de armazenagem aumentou o controle organizacional e deu um primeiro passo para criação de softwares de automação de processos de manufatura – MRP, MRP II, DRP e ERP (MAZZEO, 2001).

A Tecnologia da Informação (TI), junto com as telecomunicações, fez com que as empresas se tornassem competitivas, ganhassem clientes que por sua vez se tornam exigentes. Contudo, o aumento de concorrentes também se deu pelo mesmo fato. Conforme Likert (1997), a competição agora se torna globalizada e as empresas passam a trabalhar de forma holística e sistêmica.

Cabe ressaltar que o conceito de tecnologia da informação para Bio (1996) e Oliveira (1998), são os dados coletados, tratados e estruturados de forma a gerar utilidade com a finalidade de tomada de decisão. Todavia, para que um dado seja transformado em informação é preciso que exista uma gestão sistemática dessa informação. Neste caso, a tecnologia da informação torna-se necessária para transformar dados em informações, na intenção de aumentar a produtividade e a competitividade das empresas.

As empresas estão dependentes da tecnologia da informação para terem informações precisas sobre demanda, pedidos, produção, estoques e clientes. Por fim, a gestão de uma cadeia de suprimento só se torna viável graças a essa tecnologia. Sua importância, como

ferramenta de vantagem competitiva das empresas, é significativa para sobrevivência delas em um mercado concorrido.

Uma das áreas industriais em que a TI tem se destacado de forma importante é na Manufatura. Conforme Slack (2009), a estratégia de Manufatura é um conjunto de tarefas e decisões gerenciadas por meio de sistemas de informações, com objetivo de aumentar a competitividade empresarial. Sendo assim, torna-se um elo importante do negócio com mercado global, pois define os recursos a serem usados para alcançar vantagens competitivas.

No entanto, o processo de desenvolvimento tecnológico é fundamental para uma sociedade moderna. Para Almeida (1998), a tecnologia evolui, pois, caso contrário, a sociedade entraria em decadência. Ela ajuda o homem em suas dificuldades e a solucionar problemas de produtividade, melhora e difunde a comunicação e ajuda a superar deficiências físicas possibilitando conforto. Ela é uma ferramenta útil para o avanço intelectual da humanidade e suas mudanças causam verdadeiras transformações.

4.4 USO DA MANUFATURA ADITIVA NAS DIVERSAS ÁREAS

O uso da Impressão 3D deixou de ser apenas para projetos de engenharia e arquitetura ou de prototipagem rápida (PR). Atualmente seu uso atende às diversas necessidades empresariais, acadêmicas, sociais e individuais. Nichos de mercados estão sendo atendidos e até criados pela Impressão 3D. Áreas como a medicina e a odontologia têm se beneficiado com a impressão perfeita de próteses utilizando diversos materiais (RAULINO, 2011).

Ao comparar os processos de Manufatura Aditiva (MA) com as tecnologias subtrativas, existe uma redução significativa de resíduos sólidos com uso da Manufatura Aditiva, pouca sucata, frisagem ou uso de lixas para dar acabamentos. Existe uma redução de 40% no uso de materiais metálicos, quando comparado com a usinagem comum e 98% dos resíduos provenientes da Impressão 3D podem ser reciclados (PETROVIC, et al., 2011).

Nesse contexto, a Impressão 3D pode reorganizar os processos industriais, reduzindo custos e agregando valor ao cliente da Cadeia de Suprimentos. Em um mercado cuja principal ideia é atender às necessidades com baixo custo, a Manufatura Aditiva (MA) é uma tecnologia que pode oferecer soluções rápidas para problemas que apresentavam soluções paliativas (MIETTI, VENDRAMETO, 2000).

Segundo Weil (1966), em seu artigo sobre compra e estoque de peças para manutenção, uma das grandes preocupações das empresas está na diminuição dos custos com compra de matéria prima para produção. Essa preocupação não costuma alcançar o setor de almoxarifado, onde se encontram os equipamentos ou peças para reposição da fábrica. Parte das indústrias mantém seus estoques de peças sobressalentes em prateleiras de forma custosa para enfrentar situações de emergência, seja para atender uma manutenção preventiva ou, como acontece no Brasil, em boa parte dos casos, corretiva.

Ainda conforme Weil (1966) destaca-se outros custos em almoxarifados como mão de obra, aquisição, armazenagem, seguro, quebra, obsolescência (fato da peça nunca chegar a ser usada), furtos e, dependendo da indústria ou peça, outros custos podem ser envolvidos. Em indústrias localizadas longe dos centros produtivos (interior), esses custos tendem a aumentar com o valor cobrado pelo transporte (frete) até o local onde ela está situada.

Conforme Pozzo (2004) e Ballou (2005), dentro dos processos logísticos, a armazenagem é considerada uma das atividades de apoio que dá suporte ao desempenho das atividades primárias para que a empresas possam alcançar o sucesso. A Manufatura Aditiva possui um potencial de substituir produtos armazenados. Essa substituição pode ocorrer a um custo baixo se comparado com os demais tipos de custos levando-se em consideração o baixo valor de aquisição de uma impressora 3D e da matéria prima para impressão de produtos plásticos (Série PLA, Série ABS, Nylon, PET, PVA, TPE, TPU, Solúvel, LAYBRICK, Policarbonato e tantos que ainda possam ser descobertos).

A empresa Daimler produz cerca de 100.000 protótipos de peças impressas em 3D ao ano, nas suas diversas fábricas internacionais. *"Estamos nos beneficiando de nossa ampla experiência na Daimler com os processos de Impressão em 3D para a construção de protótipos"*, comenta Andreas Deuschle. *"As peças de reposição disponíveis consistem em componentes de plástico de alta qualidade. Capas, separadores, capas para molas, dutos de ar e cabos, braçadeiras, suportes e elementos de controle são exemplos da produção econômica de peças da mais alta qualidade que foi possibilitada por meio da impressora 3D."*

Na criação das peças "impressas" utiliza-se tecnologia de ponta baseada no processo de impressão por sinterização a laser (*Selective Laser Sintering* - SLS). A empresa Mercedes-Benz Trucks se orgulha de manter seu alto padrão de qualidade nas peças impressas em 3D. Essas peças podem ser encomendadas pelo cliente por meio do número do item especial, está

registrado nas listas de códigos de encomenda e nos catálogos de peças de reposição da Mercedes-Benz Trucks. Assim, mesmo após várias décadas, o rápido fornecimento ao cliente fica garantido por meio da Cadeia de Suprimentos da Mercedes-Benz.

No ano de 2016 a empresa Mercedes-Benz Trucks lançou um serviço de Impressão 3D de peças sobressalentes nas suas lojas por toda a Europa e EUA. Foram disponibilizadas 30 peças diferentes de reposição de plástico para serem impressas pelos clientes da Mercedes-Benz que tenham uma impressora 3D, mas caso o cliente não tenha o equipamento de impressão, as lojas da Mercedes se encarregam do serviço, garantindo a qualidade da peça e da impressão.

Com o uso da impressora 3D como um processo de produção e inovador de Pós-Venda, a Mercedes-Benz se torna pioneira e líder em tecnologia entre os produtores de caminhões. As peças disponibilizadas são apenas as de plástico, no entanto a empresa já estuda a possibilidade de criar pequenos centros de Impressão 3D em locais estratégicos para imprimir peças em metal, conforme destaca o site portal mecânica online.

No início de 2017, a montadora FORD anunciou a aquisição e o início dos testes de uma impressora 3D (*Inifinite Build 3D*), desenvolvida para atender montadoras de automóveis e a indústria aeroespacial, como a Boeing e Airbus, que já fazem testes com o equipamento há cerca de um ano e já incorporaram cerca de 300 peças funcionais em seus aviões provenientes da Impressão 3D, destaca o site startse.com.

A máquina consegue produzir peças de diversos tamanhos para seus veículos. A empresa garante que se os testes forem bem-sucedidos, “acontecerá uma ruptura para produção de carros” completou a empresa em seu pronunciamento sobre a nova tecnologia. Os ganhos já são mostrados, uma peça conhecida como “*spoiler*”, feita com a Impressão 3D, pesa menos que a metade do seu equivalente feito de metal em usinagem convencional.

Além de modificação do processo de fabricação, os efeitos da Manufatura Aditiva estão sendo estudados em pontos específicos das Cadeias de Suprimento, trazendo à tona novas questões para os fabricantes e consumidores: quando os produtos serão modelados? Como os produtos serão enviados? Onde eles serão feitos? A Manufatura Aditiva torna possível a criação de produtos por demanda, em pequenos lotes, de acordo com especificações individuais e a posterior produção ou envio a distâncias pequenas. Isso representa um método diferente da fabricação usual, baseada em fábricas que estão distantes do ponto de consumo.

As pessoas e as empresas estão reagindo às novas tecnologias. O mercado de personalização de produtos cresce ano a ano, e pessoas comuns antes consumidores de demandas dependentes, agora querem fabricar seus próprios produtos em casa ou buscam abrir seu próprio negócio, já que a Manufatura Aditiva em alguns casos, não requer um investimento alto e nem mesmo uma estrutura de fábrica para funcionar e gerar lucros, uma simples sala em um shopping, os equipamentos certos e sua empresa já estará pronta para atender necessidades exclusivas dos consumidores.

Conforme Davis (1990), a personalização ou customização pode ser definida como a habilidade de fornecer produtos e/ou serviços projetados de forma individual para o consumidor, utilizando um processo ágil, flexível e integrado. O conceito surgiu para contrapor-se à produção em massa. Nesse processo, a estratégia é focalizar as necessidades individuais do cliente, utilizando-se de processos flexíveis podendo ou não ser em grandes quantidades (customização em massa) (DA SILVEIRA et. al., 2001).

Com a busca dos clientes por produtos exclusivos, a Customização é uma maneira de obter uma nova vantagem competitiva no mercado concorrido. A customização é conceituada por Da Silveira et. al., (2001), como uma necessidade de oferecer produtos e serviços de forma individual para o cliente, considerando velocidade, flexibilidade e integração. O avanço de novos processos de produção impulsionados pela tecnologia da informação, automação e customização torna a Manufatura um diferencial competitivo estratégico nas organizações e remodelado como Manufatura Avançada.

Já para Santana (2007), personalização ou customização é atribuir ao produto e/ou serviço, características escolhidas de forma exclusiva do consumidor. A customização não é o mesmo que disponibilizar variedade de escolha, já que esse processo deixa o consumidor sem alternativa para decisões particulares a serem agregadas aos produtos disponibilizados (CHOI; STAHL; WHINSTON, 2005).

4.5 IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS DA MANUFATURA ADITIVA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Parte das literaturas acadêmicas sobre Manufatura Aditiva ainda rondam os aspectos tecnológicos e de engenharia de materiais ou da computação. A Manufatura Aditiva está saindo dos laboratórios de testes e protótipos e ganhando espaço na produção, como uma

ferramenta útil na redução de custos, buscando atender clientes, em especial os que precisam de pequenas quantidades de peças ou equipamentos (GARCIA, 2010).

Nos mercados de elevada incerteza devido à flutuação da demanda, a Manufatura Aditiva deve ganhar destaque competitivo. Esse modelo de mercado caracterizado pela customização é ideal para as impressoras 3D, devido sua flexibilidade na produção de produtos complexos, de menor custo e em baixa escala. A produção em massa de produtos não deve deixar de existir, porém o modelo de economia baseado na diversificação e personalização existe e possui uma demanda considerável para esse tipo de público (KELLY, 2000).

A Manufatura Aditiva permite ao cliente projetar produtos que se encaixem nas suas especificações, por vezes mais exigentes. As empresas que já oferecem a tecnologia como um tipo de serviço, ajustam qualquer objeto às especificações e parâmetros do consumidor e, mesmo que existam limitações temporárias como, por exemplo, objetos com mais de uma cor, os consumidores estão bastante satisfeitos com o resultado.

Os custos adicionais na produção em pequena escala, em especial de ferramentaria, eram um dos problemas para não atender clientes que necessitavam de baixo volume de produção. Com a Impressão 3D isso tem mudado, agora existe uma tecnologia que pode ajudar a resolver o dilema da escala de produção (DA SILVEIRA et al., 2001).

Com o avanço da Tecnologia de Manufatura Aditiva, o mercado de impressoras tem oferecido equipamentos cada vez mais avançados e a um preço menor, quebrando o velho paradigma de que a tecnologia se torna obsoleta no momento em que é vendida. Mesmo assim, não é possível deixar de investir na modernização de máquinas e equipamentos, já que isso é uma necessidade empresarial que gera vantagem competitiva para organização.

Sendo assim, a Manufatura Aditiva quando usada como vantagem competitiva para maximizar os lucros da empresa, mostra-se um investimento de baixo ou médio custo em comparação à insatisfação de não atender o cliente em sua necessidade.

Outra vantagem interessante é que a empresa dispensa investimentos iniciais em novas instalações físicas e até mesmo de infraestrutura lógica, podendo utilizar o que já existe, uma vez que uma impressora 3D necessita de poucos metros quadrados para funcionar. A mão de obra pode ser resolvida com a contratação de um técnico em informática que possua bons conhecimentos no sistema CAD. Porém, o tamanho das peças que serão impressas está limitado ao tamanho da impressora. Quanto maior o tamanho da peça que deve ser impressa e

quanto mais cara a matéria prima usada, mais caro custará o equipamento. Peças que são produzidas a partir de diversos tipos de plástico são as que possuem melhor relação custo/benefício (GIBSON et al., 2009).

Conforme Womack (2004) tem-se estudado quais implicações econômicas as tecnologias flexíveis como a Manufatura Aditiva têm causado nas decisões organizacionais e até governamentais. Essas tecnologias impulsionam a melhoria de outras tecnologias (como por exemplo, CAD, automação, automatização) e até a busca por capacitação da mão de obra, gerando uma necessidade constante de atualização.

Tecnologias como a Manufatura Aditiva levam organizações a investirem em melhorias tecnológicas e novas máquinas para poderem se adequar ao mercado e às necessidades do cliente. As indústrias precisam adquirir flexibilidade na capacidade de produção, ou melhorar sua capacidade, pois esse é um requisito essencial para sua eficiência. Isso implica mudar facilmente a produção de algum produto, sem incorrer em custos altos, boa parte desses custos em ferramentaria (LAMB, 2015).

A entrada de empresas que utilizam a Tecnologia de Manufatura Aditiva como oferta de serviços personalizados ao cliente final pode levar os preços de alguns produtos a se tornarem baixos no mercado. A posição dessas empresas será determinada por outros custos e não mais o de fabricação, como acontece no momento atual. Os custos de aquisição e entrega podem se tornar o foco competitivo.

O produto pronto pode ter um custo mais baixo do que da própria matéria prima utilizada para criá-lo, uma vez que a Cadeia de Suprimentos estará restringida a poucos agentes envolvidos. Nesse caso específico, as empresas podem optar pela descontinuidade da fabricação para revenda, e a demanda seria regulada pelo próprio ofertante, ou seja, os produtos demandados seriam fabricados internamente sem a necessidade de intermediários (KELLY, 2000).

Para Chang (2007), nos mercados onde existe uma heterogeneidade de produtos e demandas e uma baixa necessidade de tecnologias complexas de fabricação, a produção em escala continua sendo superior à Manufatura Aditiva em termos de economia. A Manufatura Aditiva, nesse caso, poderia ser uma estratégia para atender as demandas flutuantes de clientes, estratégia que foi adotada pela 3M Brasil. A empresa presente em 70 países e com 90 mil funcionários, investe em Manufatura Aditiva aqui no Brasil, desde 2013. A organização possui três impressoras com tecnologias diferentes para atender demandas específicas de

baixo volume de produção, aumentando, assim, a sua flexibilidade em atender a demanda dos clientes. Em mercados de elevada incerteza de demanda, a Manufatura Aditiva pode ser um diferencial estratégico e econômico interessante.

CAPÍTULO 5 – APRESENTAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS CONSTRUTOS

Após o referencial teórico apresentado no Capítulo 4 que serviu de apoio para escolha das dimensões, nesse Capítulo 5 são apresentadas as sete dimensões selecionadas e relacionadas aos construtos, bem como a apresentação dos construtos selecionados e posteriormente aprovados pelos cinco validadores de acordo com a análise estatística das respostas utilizando o Coeficiente de Validação de Conteúdo (CVC).

5.1 ESCOLHA E APRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES E DOS CONSTRUTOS

A pesquisa bibliográfica estabelece a justificativa para o uso da Manufatura Aditiva nos processos de produção de diversas Cadeias de Suprimentos. Sendo ela uma tecnologia em constante desenvolvimento e em alguns casos até de custo elevado, faz-se necessário um estudo consolidado que possa servir de apoio para as decisões estratégicas das empresas na escolha do uso da Manufatura Aditiva como um diferencial competitivo.

Durante as pesquisas bibliográficas percebeu-se que alguns temas ganhavam relevância, uma vez que eram debatidos por diversos autores, conforme mostrado no Quadro 2 da justificativa do trabalho. No entanto, ainda não foi encontrado um trabalho que consolidasse essas opiniões em uma única pesquisa e que fosse validado pela opinião de outros especialistas.

Sendo assim, a criação e escolha dos construtos basearam-se na pesquisa bibliográfica utilizando livros, artigos, dissertações, teses e reportagens. Diante do referencial apresentado nos capítulos anteriores foi elaborada uma relação de 33 construtos e divididos em sete dimensões, seguido de uma descrição mais detalhada para melhor compreensão de cada construto.

Cada construto foi elaborado com base na opinião de autores diversos que citam em seus trabalhos científicos possíveis relações da Manufatura Aditiva com a Cadeia de

Suprimentos de maneira genérica. Os construtos e as dimensões são apresentados nas tabelas abaixo. A tabela completa - com os construtos, uma descrição e as fontes - está organizada no Apêndice A.

A primeira dimensão chamada de Consumidor Final é composta por quatro construtos que apresentam uma relação, conforme as fontes pesquisadas, com o consumidor final dos produtos que podem ser fabricados por Manufatura Aditiva. Nesse sentido, a questão principal levantada é: seria possível o consumidor final ser afetado com a massificação e popularização das impressoras 3D, conforme preconizam diversos autores?

DIMENSÃO 1 - CONSUMIDOR FINAL	
S	CONSTRUTOS
01	A impressora 3D se tornará tão comum quanto uma impressora de tinta.
02	Custos mais acessíveis na compra de impressoras 3D e industriais para o consumidor final.
03	Redução das vendas no comércio com a popularização da Impressão 3D.
04	Oferta de produtos mais baratos ao consumidor final.

A segunda dimensão composta por seis construtos é chamada de Customização e Flexibilidade de Produção tem por finalidade verificar algumas das principais relações da Manufatura Aditiva com a produção. A principal questão nesse caso é analisar se a Tecnologia de Impressão 3D pode melhorar a customização e dar mais flexibilidade para as empresas com um custo menor de produção.

DIMENSÃO 2 - CUSTOMIZAÇÃO E FLEXIBILIDADE DE PRODUÇÃO	
S	CONSTRUTOS
05	Redução de ferramental na linha de produção.
06	Melhoria nos processos para fabricação de muitos produtos industriais.
07	Aumento na oferta de mix de produtos.
08	Flexibilidade no volume de produção.
09	Redução de desperdício de matéria prima.
10	Agilidade no atendimento à necessidade do cliente.

Buscando relacionar a Manufatura Aditiva com alguns Custos Logísticos, a terceira dimensão é composta por quatro construtos que analisam três questões principais: a redução

de preço das impressoras 3D industriais, redução de preço dos produtos fabricados pela Manufatura Aditiva e redução nos custos de armazenagem.

DIMENSÃO 3 - CUSTOS LOGÍSTICOS	
S	CONSTRUTOS
11	Redução no preço de compra de impressoras 3D industriais.
12	Redução do preço final de produtos fabricados por Manufatura Aditiva.
13	Redução nos custos de armazenagem de peças sobressalentes no almoxarifado.
14	Redução nos custos de estoques de produtos acabados.

Na dimensão quatro, o estudo busca relacionar os impactos da Manufatura Aditiva com a Cadeia de Suprimentos. Composta por oito construtos é uma das dimensões mais relevantes, por abordar uma análise com foco nos transportadores e em novas arquiteturas para Cadeia de Suprimentos envolvendo o uso da Manufatura Aditiva.

Autores e pesquisadores relatam que o avanço da tecnologia de Manufatura Aditiva com a utilização de novas matérias primas, acompanhado de um menor custo de aquisição das impressoras 3D pode modificar a forma convencional da Cadeia de Suprimentos, produtos podem ser fabricados em outros elos da cadeia e não somente na indústria como acontece normalmente. Esse fato pode gerar uma adaptação das transportadoras que poderão sofrer uma redução no volume de mercadorias transportadas e, como consequência, no seu lucro, principalmente de produtos oriundos da indústria transformadora.

DIMENSÃO 4 - CADEIA DE SUPRIMENTOS	
S	CONSTRUTOS
15	Redução no volume de mercadorias transportadas.
16	Deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final.
17	Simplificação da Cadeia de Suprimentos.
18	Redução de <i>Lead Time</i> de entrega.
19	Redução no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes.
20	Impacto no lucro das transportadoras.
21	Novas estratégias e um novo modelo para Cadeia de Suprimentos.
22	Redução no valor das mercadorias impressas em 3D.

Novos negócios surgem a todo o momento envolvendo a Cadeia de Suprimentos. Cada nova tecnologia que surge potencializa as estratégias usadas pelas empresas, que por sua vez está direta ou indiretamente ligada à Cadeia de Suprimentos. Sendo assim, a quinta dimensão busca explorar o surgimento de novos negócios e alguns benefícios que a Manufatura Aditiva pode trazer para seguimentos já existentes e com uma cadeia complexa como é o caso da área da saúde.

Já o uso e benefício da Impressão 3D na construção civil ainda é algo duvidoso, porém não pode deixar de ser analisado pelos especialistas, assim como a percepção de que poderá existir falta de mão de obra especializada para trabalhar com as impressoras 3D e seus assessórios.

DIMENSÃO 5 - NOVOS NEGÓCIOS	
S	CONSTRUTOS
23	Surgimentos de novos negócios envolvendo Impressão 3D.
24	Falta de mão de obra capacitada na área.
25	Benefícios na construção civil.
26	Uso da Impressão 3D para produção de peças obsoletas, não mais fabricadas pelas indústrias.
27	Benefícios na medicina e na odontologia.

A sexta dimensão chamada de Inovação é composta por três construtos que abordam como o avanço da Tecnologia de Manufatura Aditiva pode impulsionar a criação e o uso de novas matérias primas para fabricação de peças mais leves e resistentes. Podendo ainda, chegar ao uso de nanotecnologia, sendo usada para melhorar a rastreabilidade de produtos e, com isso, aumentar o volume de dados gerados, facilitando a gestão do conhecimento, indicadores e de processos, minimizando desperdícios e falhas.

DIMENSÃO 6 – INOVAÇÃO	
S	CONSTRUTOS
28	Desenvolvimento de novas matérias primas e novos produtos.
27	Desenvolvimento de peças mais leves e eficientes.
30	Melhoria na rastreabilidade de produtos.

A última dimensão composta de três construtos é chamada de Patentes. Tem como objetivo analisar se o uso da Manufatura Aditiva para impressão de produtos, peças, acessórios, brinquedos, entre outros, pode gerar um aumento de processos judiciais relacionados a direitos autorais. Uma impressora 3D, um software ou um scanner podem produzir praticamente qualquer produto, no entanto, muitas peças possuem direitos autorais uma vez que sua patente tenha sido registrada.

Esse fato tem causado debates entre os pesquisadores sobre os limites do uso da Manufatura Aditiva para fabricação de alguns produtos. É necessário refletir e mapear, desde já, potenciais conflitos e dúvidas que nascerão ao se pensar na relação “impressora 3D, direitos autorais e a Cadeia de Suprimentos”, vez que dependendo da forma como alguns conceitos básicos serão entendidos e aplicados, o desenvolvimento e uso dessa tecnologia poderão ser influenciados.

DIMENSÃO 7 - PATENTES	
S	CONSTRUTOS
31	Aumento no número de processos judiciais.
32	Aumento do número de registros de patentes
33	Novas discussões sobre os direitos autorais.

Antes de apresentar os construtos aos entrevistados e iniciar as rodadas, o método Delphi prevê que os construtos sejam validados por um grupo menor de especialistas chamados de validadores, para identificar se cada construto apresenta clareza de linguagem e a pertinência prática para ser incluído na pesquisa. Em seguida é apresentado a fórmula estatística usada para alcançar os resultados.

5.2 VALIDAÇÃO DO CONTEÚDO DOS CONSTRUTOS

Os construtos foram apresentados aos validadores via Google Formulário utilizando uma escala Likert de cinco pontos para realizarem as respostas, dividida entre 1- Não concordo totalmente; 2- Não concordo parcialmente; 3- Não concordo, nem discordo; 4- Concordo parcialmente; 5- Concordo totalmente. Os perfis dos cinco especialistas que validaram os construtos são apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 - Perfil dos Validadores

S	Título	Cargo	Atuação profissional	Exper.	Obs.:
1	Doutor em Engenharia de Produção pelo ITA	Professor; Diretor de empresa privada.	Gestão de sistemas de software; Mecânica e termomecânicos.	9 anos	Participou da avaliação e das duas rodadas
2	Mestre em Engenharia de produção pelo ITA	Gerente de PCP	Tecnologia de Impressão 3D	10 anos	Participou da avaliação e das duas rodadas
3	Especialista pela USP	Gerente de Logística	Logística. Manufatura Aditiva	8 anos	Participou da avaliação e das duas rodadas
4	Mestre em Sistemas Logísticos pelo ITA	Professor; Diretor de uma empresa privada.	Manufatura aditiva; Sistemas e Softwares.	8 anos	Participou da avaliação e das duas rodadas
5	Doutoranda em Engenharia de Produção pela PUC-PR	Professora	Leciona as disciplinas de tecnologias logísticas e Manufatura na PUC-PR	7 anos	Só participou da avaliação dos construtos

Para análise das respostas dadas pelos validadores utilizou-se o teste estatístico Coeficiente de Validação de Conteúdo (CVC) proposto por Hernandez-Nieto, (2002). Todas as respostas apresentaram nota 4- Concordo parcialmente ou 5- Concordo totalmente. Com base nas notas dos validadores, foram calculadas as médias de cada construto (M_x):

$$M_x = \frac{\sum_{i=1}^J x_i}{J}$$

Onde $\sum x_i$ representa a soma das notas dos validadores e J representa o número de validadores. Com base na média, calculou-se o CVC para cada item (CVC_i):

$$CVC_i = \frac{M_x}{V_{máx}}$$

Na fórmula, ($V_{máx}$) representa o valor máximo que o item poderia receber. Realizou-se ainda o cálculo do erro (Pe_i), para descontar possíveis vieses dos validadores, para cada construto:

$$Pe_i = \left(\frac{1}{J} \right)^J$$

Sendo assim foi calculado o (CVC_c) final de cada construto:

$$CVC_c = CVC_i - Pe_i$$

Para o cálculo do CVC total do questionário (CVC_t), para cada uma das características (clareza de linguagem e relevância prática), utilizou-se:

$$CVC_t = Mcvc_i - Mpe_i$$

Na fórmula, (M_{cv}_i) representa a média dos coeficientes de validade de conteúdo dos construtos do questionário e (M_{pe}_i) a média dos erros dos itens do questionário. O ponto de corte adotado para determinar níveis satisfatórios para clareza da linguagem e relevância foi de CVC_c ≥ 0,80 para cada um dos itens e de CVC_t ≥ 0,80 para o instrumento no geral conforme recomendado na literatura da área (CASSEPP-BORGES et al., 2010). A Tabela completa encontra-se no Apêndice C.

O Coeficiente de Validação do Conteúdo (CVC) mostrado na Tabela 6 para clareza apresentou 0,94 e para relevância 0,91, assim como o CVC médio de toda a planilha, ficando, portanto, acima do valor mínimo proposto pelos autores (Hernández-Nieto (2002), Balbinotti et al., (2006) e Pasquali (2009)), que recomendam um coeficiente médio igual ou superior a 0,80. Sendo assim, os construtos são válidos para serem usados em uma pesquisa Delphi.

Tabela 6 - Informações estatísticas da validação do conteúdo

	CLAREZA	RELEVÂNCIA	
CVC médio	0,94	CVC médio	0,91
CVC médio de toda planilha	0,94	CVC médio de toda planilha	0,91
Erro padrão (Pei)	0,03	Erro padrão (Pei)	0,04
Desvio padrão	0,19	Desvio padrão	0,22
Variância da amostra	0,04	Variância da amostra	0,05
Nível de confiança(95,0%)	0,07	Nível de confiança(95,0%)	0,08

Fonte: autor (2018)

Conforme a estatística descritiva do resultado, a variância amostral nas respostas dos validadores também demonstra ser pequena, resultando em 0,04 para clareza e 0,05 para relevância, mostrando uma boa homogeneidade nas respostas, tanto para clareza quanto para

relevância e o nível de confiança (95%) respectivamente para clareza e a relevância ficou em 0,07 e 0,08. Apenas um dos validadores realizou um comentário como sugestão de melhoria e que foi adotado:

Sugestão do validador 1: *“você tem duas opções – discordo parcialmente e concordo parcialmente (alguns respondentes podem considerá-las equivalentes, pois se você concorda parcialmente, automaticamente você também discorda parcialmente. A sugestão foi aceita e as opções foram corrigidas para: “Concordo parcialmente e Não concordo parcialmente.”*

Uma vez validado os construtos foram realizadas as rodadas da pesquisa Delphi junto aos especialistas e apresentadas no Capítulo 6.

CAPÍTULO 6 – CONSENSO, RESULTADOS E ANÁLISES DOS CONSTRUTOS

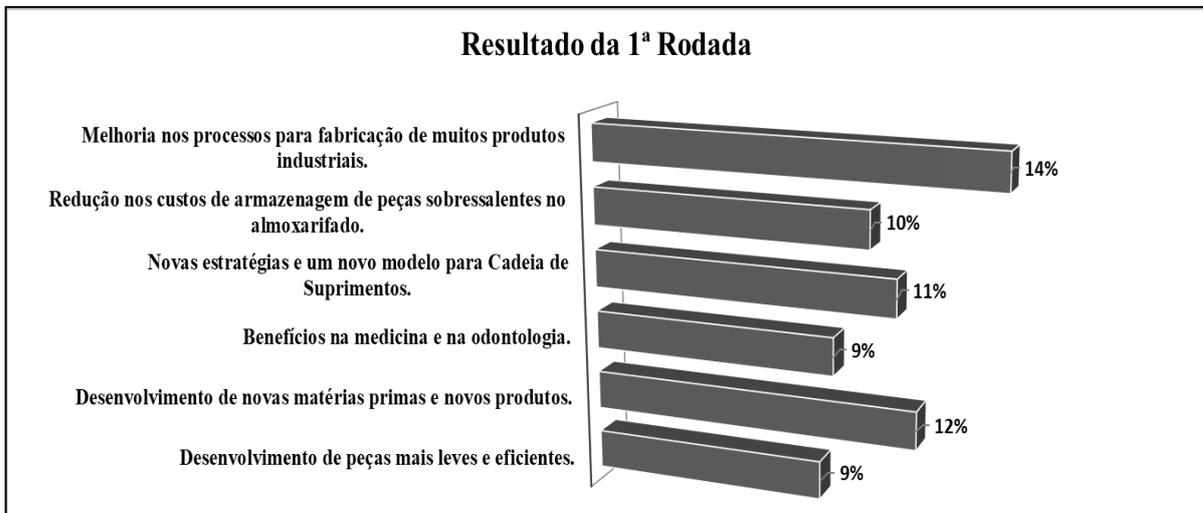
Nesse capítulo são apresentados os gráficos com os construtos que alcançaram o consenso nas respostas dos especialistas na primeira, segunda e terceira rodada. Em seguida são apresentados os resultados e análises individuais por meio de gráficos utilizando o histograma. O objetivo das análises é remeter a uma reflexão sobre cada construto investigado e respondido pelos especialistas. Por fim, são incluídos os comentários realizados pelos especialistas sobre os construtos no momento que responderam à pesquisa durante as três rodadas. Esses comentários foram incluídos junto da análise dos resultados individuais.

6.1 CONSENSO E ESTABILIDADE DAS RESPOSTAS

A técnica Delphi geralmente inclui, nos procedimentos, pelo menos duas rodadas com o grupo de especialistas sobre o assunto abordado, opinando sobre os construtos e dando justificativas para suas respostas. O pesquisador tem a oportunidade entre as rodadas para alterações e revisões das perguntas. Após atender ao critério previamente definido pelo pesquisador para encerrar as rodadas, é possível que o grupo de especialistas forneça uma previsão sobre o tema investigado, através do consenso do grupo.

A primeira rodada foi feita com 37 especialistas, com prazo de 45 dias para responderem, essa primeira rodada é vista como uma calibração da pesquisa junto aos entrevistados. Nessa rodada apenas seis construtos ficaram abaixo dos 15% necessários. Segundo Chaffin e Talley (1979) e Ferreira (1991), só é possível determinar uma homogeneidade e, portanto, um consenso e estabilidade nas respostas quando o construto atingir um Coeficiente de Variação igual ou abaixo de 15%, o Gráfico 3 mostra os seis construtos e o percentual de Coeficiente de Variação atingidos na primeira rodada.

Gráfico 3 - Construtos que apresentaram consenso na 1ª rodada

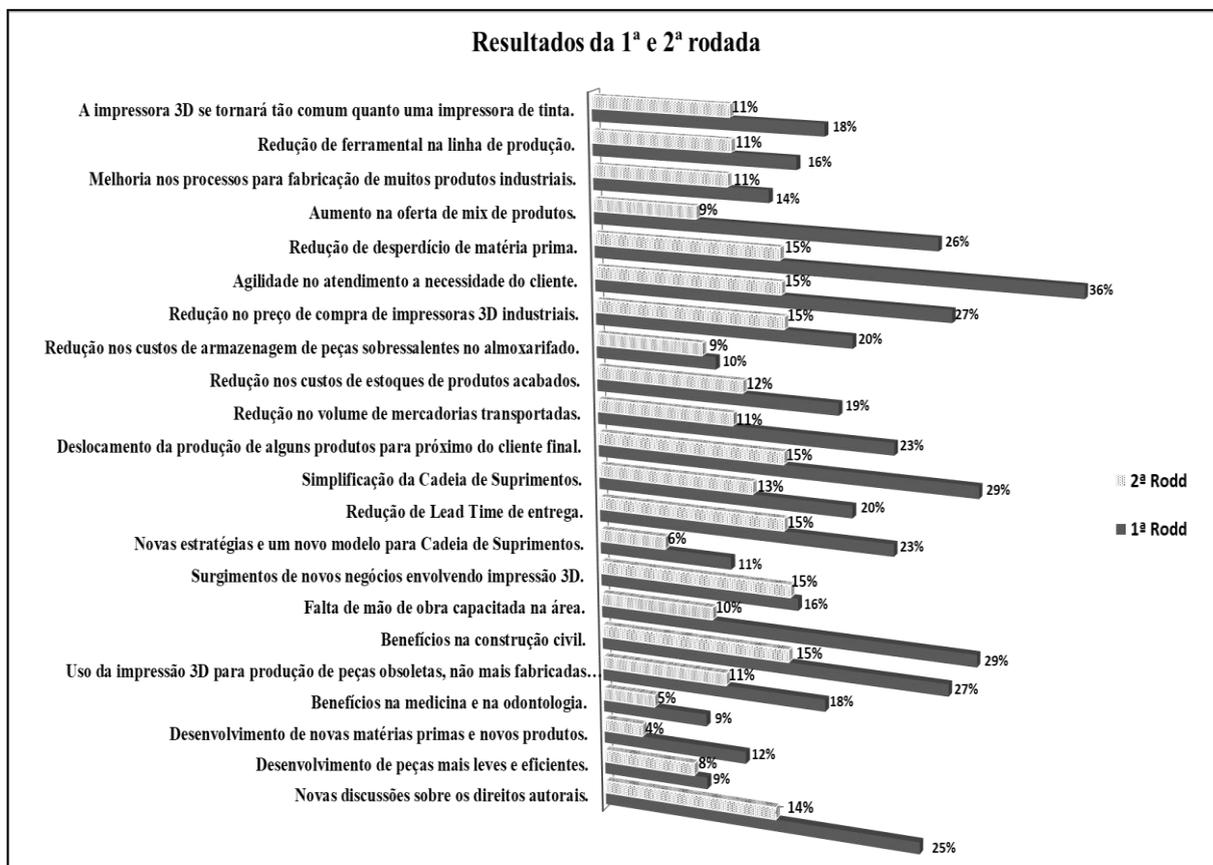


Mesmo com seis construtos atingido um Coeficiente de Variação igual ou inferior a 15% na primeira rodada, o método Delphi prevê no mínimo duas rodadas. A primeira rodada serve como uma forma de calibrar os especialistas para a pesquisa e retirar possíveis dúvidas que os especialistas possam ter relacionadas à construção do construto. Todos os construtos foram, portanto, submetidos à segunda rodada, com os entrevistados.

O link da pesquisa foi, então, enviado aos especialistas por e-mail, e o prazo para responderem a essa rodada foi de 45 dias. Os especialistas puderam acessar o percentual de Coeficiente de Variação dos construtos da primeira rodada para análise e confirmação ou mudança da resposta de cada construto. Na segunda aplicação da pesquisa houve uma desistência natural de quatro especialistas.

Após a consolidação dos dados da segunda rodada, 22 construtos incluindo os seis construtos da primeira rodada apresentaram um percentual de Coeficiente de Variação igual ou menor que 15%, demonstrando um consenso nesses construtos. Os seis construtos que já haviam atingido o Coeficiente de Variação na primeira rodada obtiveram um percentual ainda mais baixo na segunda rodada, consolidado seu consenso entre os especialistas. Os 22 construtos que alcançaram o consenso são mostrados no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Comparação dos construtos que atingiram o consenso na 1ª e na 2ª Rodada



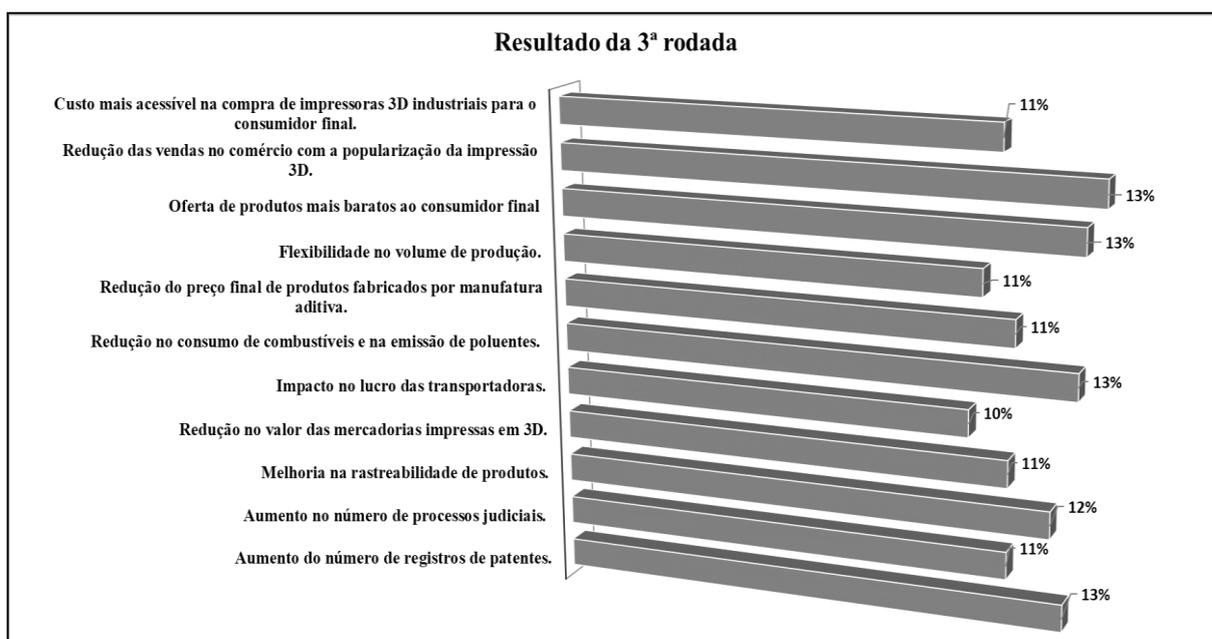
Para Dajani et al., (1979) e Pimentel-Gomes (1991), atingir o consenso e, portanto, a estabilidade nas respostas da pesquisa é fundamental para estabelecer o fim das rodadas. Porém, ainda havia 11 construtos que não apresentaram consenso na primeira e nem na segunda rodada, ficando, portanto, com seus percentuais acima de 15% de Coeficiente de Variação.

O método Delphi prevê que os construtos que atingiram o Coeficiente de Variação igual ou menor que 15% nas duas rodadas não precisam ser enviados para a terceira rodada. Sendo assim, somente os construtos que ainda não haviam alcançado o consenso nas duas rodadas iniciais foram reagrupados para a terceira rodada. Após a análise estatística das respostas e dos comentários dos entrevistados justificando suas opiniões, foi enviado pelo gestor da pesquisa aos especialistas um *feedback* dos resultados da primeira e segunda rodada e convidando-os a participarem de uma terceira rodada.

A terceira rodada foi realizada com os 11 construtos. Os especialistas entrevistados receberam o link para acessar os construtos e um prazo de 20 dias para responderem o

questionário. Ao final do período estipulado para responderem o questionário houve a participação de 28 especialistas que responderam à pesquisa, resultando em uma perda natural de cinco entrevistados dos 33 respondentes na segunda rodada. O método Delphi prevê a perda de alguns especialistas durante as rodadas. Após a aplicação da terceira rodada os resultados do Coeficiente de Variação foram consolidados e apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Construtos que alcançaram o CV na 3ª rodada



Com o consenso alcançado, uma vez que todos os 33 construtos apresentaram o Coeficiente de Variação igual ou inferior de 15% estabeleceu-se, portanto, a estabilidade e o fim das rodadas da pesquisa Delphi. Na Tabela 7, pode-se verificar os percentuais finais de Coeficiente de Variação para cada construto.

Tabela 7 - Construtos e seus percentuais de CV

Dim	S	Construtos	CV
Consumidor Final	1	A impressora 3D se tornará tão comum quanto uma impressora de tinta.	11%
	2	Custo mais acessível na compra de impressoras 3D industriais para o consumidor final.	11%
	3	Redução das vendas no comércio com a popularização da impressão 3D.	13%
	4	Oferta de produtos mais baratos ao consumidor final	13%
Customização e Flexibilidade	5	Redução de ferramental na linha de produção.	11%
	6	Melhoria nos processos para fabricação de muitos produtos industriais.	11%
	7	Aumento na oferta de mix de produtos.	9%
	8	Flexibilidade no volume de produção.	11%
	9	Redução de desperdício de matéria prima.	15%
Custos Logísticos	10	Agilidade no atendimento a necessidade do cliente.	15%
	11	Redução no preço de compra de impressoras 3D industriais.	15%
	12	Redução do preço final de produtos fabricados por manufatura aditiva.	11%
	13	Redução nos custos de armazenagem de peças sobressalentes no almoxarifado.	9%
SCM	14	Redução nos custos de estoques de produtos acabados.	12%
	15	Redução no volume de mercadorias transportadas.	11%
	16	Deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final.	15%
	17	Simplificação da Cadeia de Suprimentos.	13%
	18	Redução de <i>Lead Time</i> de entrega.	15%
	19	Redução no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes.	13%
	20	Impacto no lucro das transportadoras.	10%
Novos Negócios	21	Novas estratégias e um novo modelo para Cadeia de Suprimentos.	6%
	22	Redução no valor das mercadorias impressas em 3D.	11%
	23	Surgimentos de novos negócios envolvendo impressão 3D.	15%
	24	Falta de mão de obra capacitada na área.	10%
	25	Benefícios na construção civil.	15%
Inovação	26	Uso da impressão 3D para produção de peças obsoletas, não mais fabricadas pelas indústrias.	11%
	27	Benefícios na medicina e na odontologia.	5%
	28	Desenvolvimento de novas matérias primas e novos produtos.	4%
Patentes	29	Desenvolvimento de peças mais leves e eficientes.	8%
	30	Melhoria na rastreabilidade de produtos.	12%
Patentes	31	Aumento no número de processos judiciais.	11%
	32	Aumento do número de registros de patentes.	13%
	33	Novas discussões sobre os direitos autorais.	14%

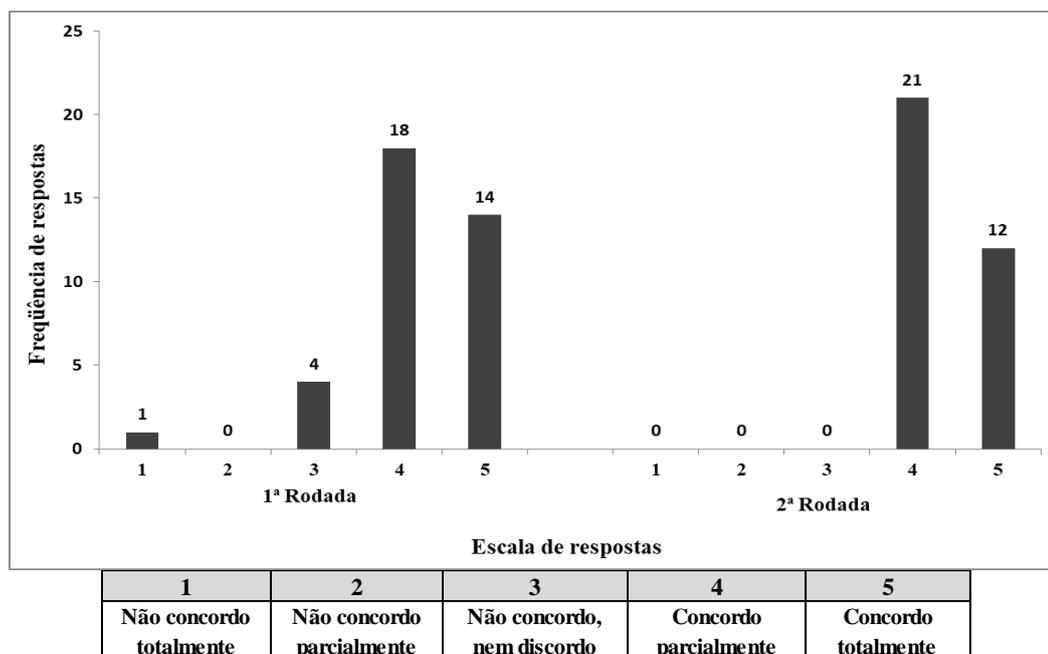
6.2 ANÁLISE INDIVIDUAL DAS RESPOSTAS

A análise individual das respostas é feita por meio da apresentação do construto, seguido da análise do Gráfico utilizando o histograma, sendo ele uma representação da distribuição de frequências de um conjunto de dados quantitativos contínuos. Em seguida são mostrados os comentários existentes dos especialistas feitos durante as rodadas da pesquisa Delphi e com os comentários do autor.

1) A impressora 3D se tornará tão comum quanto uma impressora de tinta.

O objetivo desse construto é buscar uma reflexão sobre a difusão da Impressão 3D como um equipamento normal de acesso à maioria dos consumidores e quais impactos que isso pode acarretar na Cadeia de Suprimentos em um período de até 10 anos (MECHING, PEARCE e BUSBIN, 1995; KITSON, et. al., 2016; JONSSON et al. 2000; MANYIKA et. al., 2013). No Gráfico 6 são apresentados os resultados da primeira e segunda rodadas com relação ao construto 1. Para este construto, as respostas dos especialistas se concentraram em 4- concordo parcialmente e 5- concordo totalmente com o construto. O Coeficiente de Variação caiu de 18% na primeira rodada para 11% na segunda rodada, abaixo dos 15% conceituado como percentual ideal para o consenso (Chaffin e Talley, (1979) e Ferreira, (1991)), atingindo, portanto, o consenso na segunda rodada e não necessitando de uma terceira rodada. Com a popularização das impressoras 3D, alguns produtos poderão ser fabricados em domicílio. O avanço da tecnologia mostra que os preços das impressoras vêm caindo conforme novos modelos são lançados no mercado. Em um prazo de até 10 anos, comprar uma impressora 3D será tão viável e necessário quanto a impressora de tinta, seja para produzir algum utensílio doméstico ou para produção personalizada de forma comercial.

Gráfico 6 - Histograma das respostas do construto 1



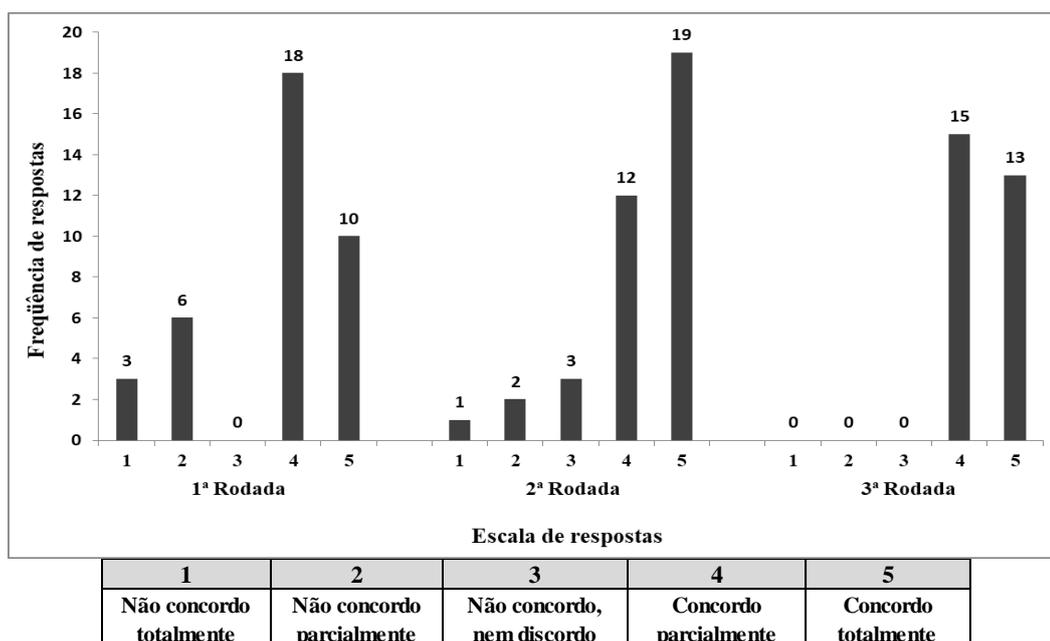
2) Custo mais acessível na compra de impressoras 3D industriais para o consumidor final.

Uma impressora 3D industrial, nesse contexto, é aquela capaz de imprimir produtos utilizando algum tipo de metal a uma velocidade considerável em comparação com a manufatura convencional. Com tempo a tecnologia se torna mais acessível ao consumidor final e não está sendo diferente com as impressoras 3D, facilitando assim sua popularização e se tornando um item tão essencial quanto uma impressora de tinta. No Gráfico 7, que representa o construto 2, a primeira rodada apresentou um Coeficiente de Variação de 37% e reduziu para 23% na segunda rodada, levando o construto para mais uma terceira rodada. Realizada a terceira rodada, o Coeficiente de Variação caiu para 11%, estabelecendo um consenso nas respostas dos especialistas, uma vez que a maioria das respostas ficou entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5). O construto foi respondido acompanhado de alguns comentários dos especialistas: *As impressões 3D industriais normalmente utilizam o método de sinterização seletiva a laser, o que pode ter custos elevados de produção graças à quantidade de insumos utilizados, como gás nitrogênio, pó de nylon e compressor de ar; impressoras industriais têm características diferentes das necessidades dos consumidores finais; com a comoditização da tecnologia, e contínuo aumento de sua adoção, (e ainda considerando a lei de Moore), os motores de passo, os controladores de arquitetura aberta, os códigos open source já são realidade. Atualmente, é possível produzir uma impressora 3D com facilidade. O problema ainda persiste em que material depositar e como depositar. Acredito que um único eixo de deposição será brevemente substituído por multieixos de deposição. Sim, pois já existe uma empresa polonesa fabricante de um equipamento SLS compacta, tamanho semelhante a uma impressora FDM de escritório, valor 5000 euros. Sim, devido a característica dos processos atuais. É o caminho natural de todo produto, os preços tendem a cair. Quedas de patentes. Peças de reposição mais baratas. Etc. Por outro lado, existe o desenvolvimento tecnológico constante, mantendo o valor de venda. Ainda não atingimos a escala suficiente para viabilizar o custo mais acessível nesta área. A exemplo de qualquer outra tecnologia, com a descoberta cada vez maior de novas utilidades e a difusão/ simplificação da mesma, consequentemente com o aprimoramento e escala, certamente se tornará mais acessível. Além do fato de muitas peças poderem ser produzidas pelas próprias. Também há a questão do desenvolvimento dos materiais consumíveis. Há uma tendência de comoditização do equipamento em suas formas mais simples, porém, ao se esperar equipamentos que deem*

precisão e que utilizem materiais especiais, eu não acredito que esses custos chegarão ao consumidor final.

Considerando, ainda, que a Cadeia de Suprimentos desse produto pode ser longa e, portanto, possuir um *lead time* demorado até a entrega ao cliente final. Alguns especialistas relatam que será possível que em até 10 anos as impressoras 3D que hoje fabricam produtos utilizando metal estejam disponíveis ao consumidor final. A tecnologia para esse tipo de impressão ainda é cara, porém, assim como os produtos que possuem demanda normalmente são produzidos em escala, esse tipo de impressora deve se tornar mais acessível para uso doméstico. A fabricação de produtos em diversos tipos de materiais aumentará, principalmente em metal. Fabricantes de impressoras 3D da Europa, Ásia e EUA estão colocando no mercado consumidor impressoras 3D que imprimem utilizando diversos tipos de metais, polímeros e outros tipos de matérias primas.

Gráfico 7 - Histograma das respostas do construto 2



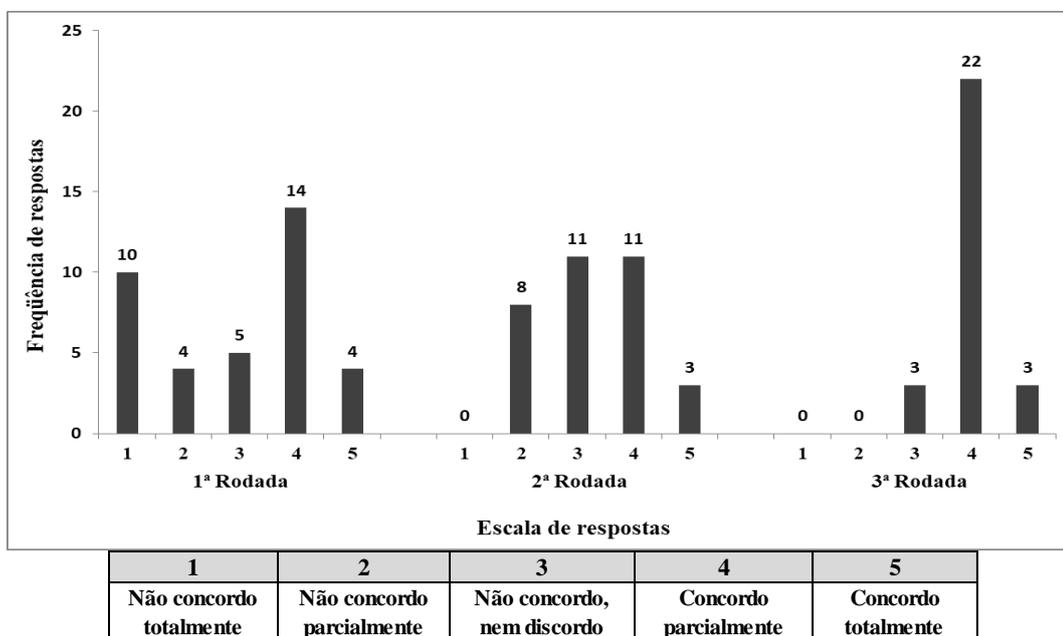
3) Redução das vendas no comércio com a popularização da Impressão 3D.

O objetivo desse construto é abordar uma possível redução de vendas no comércio de alguns produtos fabricados em escala e que agora possam ser fabricados com impressora 3D de forma doméstica. Na primeira rodada o construto apresentou 48% de Coeficiente de Variação, reduzindo para 29% na segunda rodada, o construto foi então para mais uma rodada. Ao realizar a terceira rodada, o coeficiente caiu para 13%, demonstrando que se

chegou a um consenso sobre o construto. Mesmo assim, alguns especialistas deixaram claro que esse processo deve acontecer de forma não tão impactante para o comércio, ou pelo menos não deve acontecer em médio prazo, uma vez que a maioria das respostas se concentrou em concordo parcialmente (4), conforme demonstra o Gráfico 8. Esse construto também veio acompanhado de alguns comentários dos especialistas: *O consumidor reduzirá eventualmente o consumo de alguns bens finais, mas começará a consumir insumos para Impressão 3D (substituição); reduzirão a venda de produtos finais, ou colocará a distribuição mais próxima do cliente, mas ele começará a obter resultados na venda de insumos e de seus projetos para serem impressos (depende de ajustes legais ainda); não podemos confundir manufatura com canais de distribuição. Mesmo que a manufatura se torne digital, ainda teremos hubs de manufatura e distribuição. Não se pode esperar que cada cidadão tenha sua própria manufatura. Não pela impossibilidade técnica, mas sim pela incapacidade do ser humano em gerir seu tempo para tal. Sem ainda mencionar que a vaidade humana será responsável sempre pela diferenciação de produtos. Isso não será alterado. Acredito na customização e na maior racionalização da fase de projeto até a execução da parte/bem. Não concordo com a redução, uma vez que esta tecnologia por hora não irá substituir a praticidade do produto no balcão. O mundo está se tornando digital, muitas pessoas, assim como eu, já compram vários produtos pela internet para ter a comodidade e facilidade em não sair de casa e devido ao menor valor. Com a possibilidade de fazer os produtos e peças em casa, isso tende a aumentar no meu ponto de vista, ainda mais pela tecnologia ser inserida cada vez mais no ensino de base. Em maior grau ou menor, certamente haverá impactos com o desenvolvimento / aprimoramento não só desta mais de qualquer técnica que prime pela possibilidade de autossuficiência e customização nos processos de fabricação. Acredito que o equilíbrio sofrerá mudança com o peso se deslocando mais para o projeto (troca de conceitos/ projetos / vetores). A grande maioria das tecnologias de MA é mono material e com isto existem limitações de produtos a serem feitos. Existem questões de direito autoral e patente a serem resolvidas e ainda existe a barreira do conhecimento, que faz com que esta Tecnologia de Produção não seja 100% acessível ao consumidor comum. Então creio que haverá um impacto no comércio, mas que será mais sentido em pequenas peças de reposição e materiais específicos (e com limitações de dimensões). Acredito que só alguns segmentos sentirão. Dependerá muito da transformação do comércio oferecendo soluções diferenciadas.*

É possível que o comércio sofra alguns reflexos do avanço da tecnologia da impressora 3D e da sua popularização, mas esse fato deve ser pouco impactante. Alguns produtos podem ser personalizados e fabricados em domicílio, não necessitando, portanto, da Cadeia de Suprimentos convencional para chegar até o consumidor final. Ainda é difícil de mensurar o percentual desse reflexo, mas o fato é que a Manufatura Aditiva deverá ser uma tecnologia de agregação de valor na forma de fabricação de alguns produtos, seja pela personalização, custo ou velocidade de entrega. No entanto, alguns especialistas relatam que a Cadeia de Suprimentos para fabricação desses produtos continuará a existir.

Gráfico 8 - Histograma das respostas do construto 3

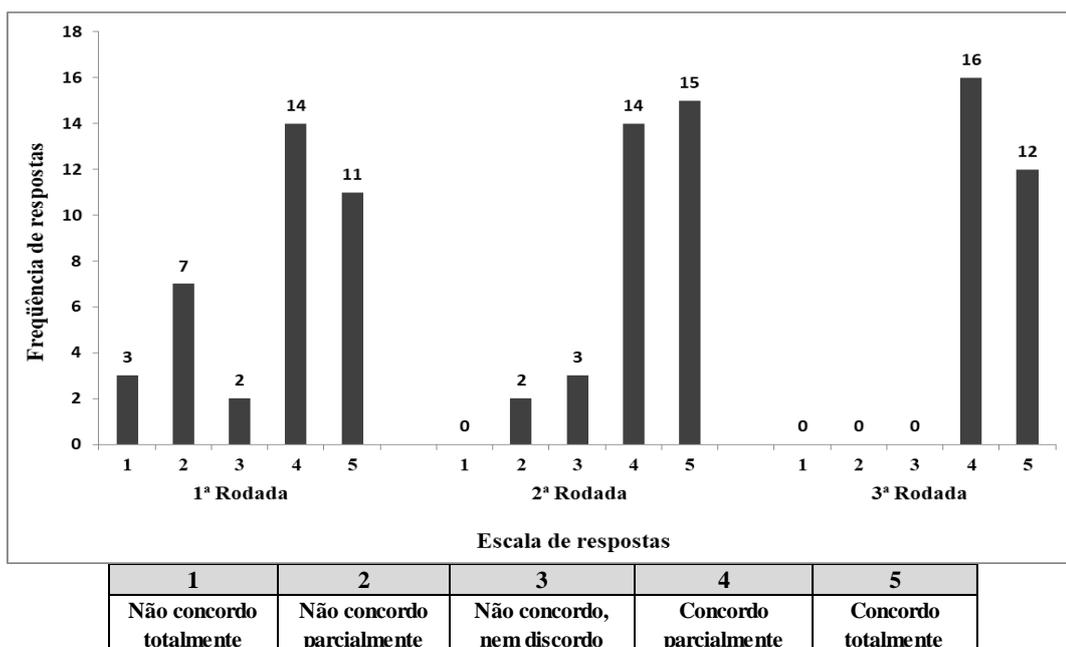


4) Oferta de produtos mais baratos ao consumidor final.

O barateamento das impressoras e novas tecnologias de impressão devem reduzir os custos de fabricação para determinados produtos. Esse reflexo pode se estender pela Cadeia de Suprimentos e chegar ao cliente final (LINDBERG, 1994; CO, PATUWO e HU, 1998; VOLPATO, 2007; SCHWAB, 2016). O objetivo é investigar se os produtos fabricados pela Manufatura Aditiva podem ficar mais baratos ao consumidor final devido à popularização da Impressão 3D. Na visão dos entrevistados durante a primeira rodada, o Coeficiente de Variação ficou em 37%; já na segunda, caiu para 20% próximo de um consenso. Após enviar para uma terceira rodada, o Coeficiente Variação baixou para 13% atingindo o consenso entre os especialistas. O Gráfico 9 mostra que a maioria das respostas se concentrou em concordo

parcialmente (4) e concordo totalmente (5) para as três rodadas. Segue alguns comentários feitos pelos especialistas durante as repostas: *Nosso País é continental e a tecnologia avança de forma gradual; produtos fabricados de forma aditiva são mais caros do que os fabricados pelos processos tradicionais. A vantagem da tecnologia aditiva está em outras áreas da cadeia produtiva; talvez por conta da redução de consumo, haja uma redução. Mas é só especulação partindo do princípio de que a Impressão 3D substituirá profundamente a compra de bens finais, e que será amplamente adotada. Se a empresa tem foco na diferenciação, pode ser que isso não aconteça pelo valor gerado. Produtos complexos e de maior performance estarão disponíveis. Pode ajudar muito na variedade de portfólio. O mercado é sempre mandatário. Manutenção de preços e mercados. Sempre existirá uma tecnologia fechada por certo período de tempo. Regras de mercado e não de tecnologia. A fabricação de peças mais leves e resistentes que antes eram consideradas impossíveis de serem produzidas pela manufatura convencional é um exemplo de que os custos podem ficar menores. A compra de matéria prima para fabricação do produto diretamente no ponto de uso não elimina a Cadeia de Suprimentos desse produto, existe apenas um deslocamento da fabricação do produto para próximo do cliente final ou até mesmo para o próprio cliente final. Sendo assim, a diminuição dos custos seria mais percebida na fabricação de produtos em pequena escala.*

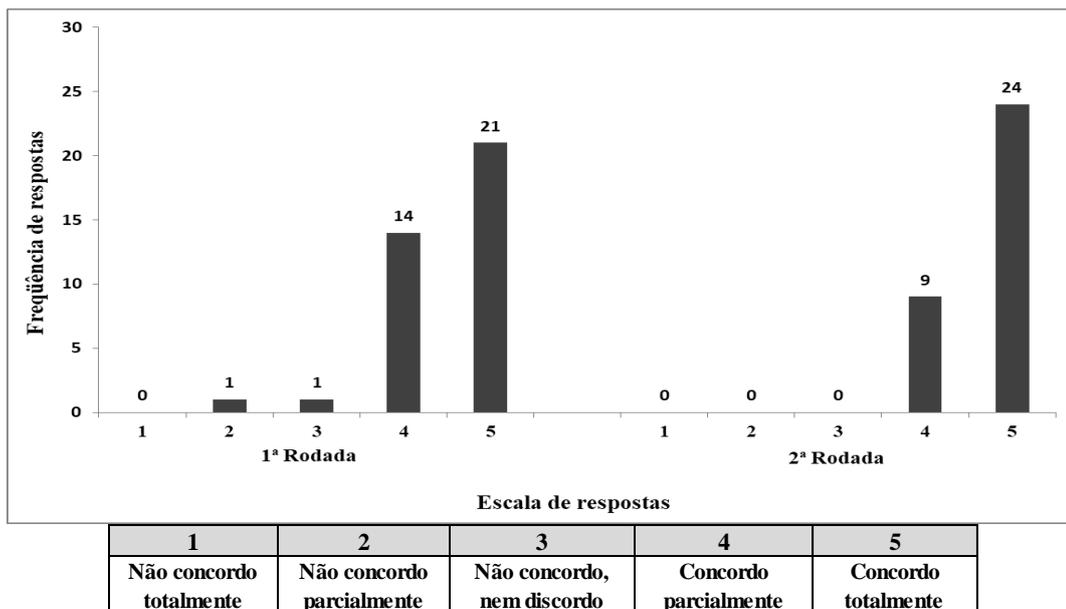
Gráfico 9 - Histograma das respostas do construto 4



5) Redução de ferramental na linha de produção.

O uso de impressoras 3D nas linhas de produção pode reduzir o uso de outras ferramentas consideradas tradicionais para manufatura. Esse processo pode resultar em melhorias industriais como a redução de desperdício e maior agilidade no atendimento ao cliente com pedidos de baixa escala. O construto 5 representado pelo Gráfico 10 investiga se a Manufatura Aditiva pode gerar benefícios na linha de produção, como por exemplo, a redução de ferramental (MONGE, 2006; MANYIKA; et al., 2013). Já na primeira rodada o Coeficiente de Variação ficou em 16%, bem próximo do consenso dos especialistas. Ao realizar a segunda rodada os especialistas chegaram a um consenso de que isso deve acontecer, o Coeficiente de Variação ficou em 11%. O Gráfico 10 mostra que os entrevistados concordam parcialmente (4) e totalmente (5) com esse construto, não sendo necessário uma terceira rodada para esse construto.

Gráfico 10 - Histograma das respostas do construto 5

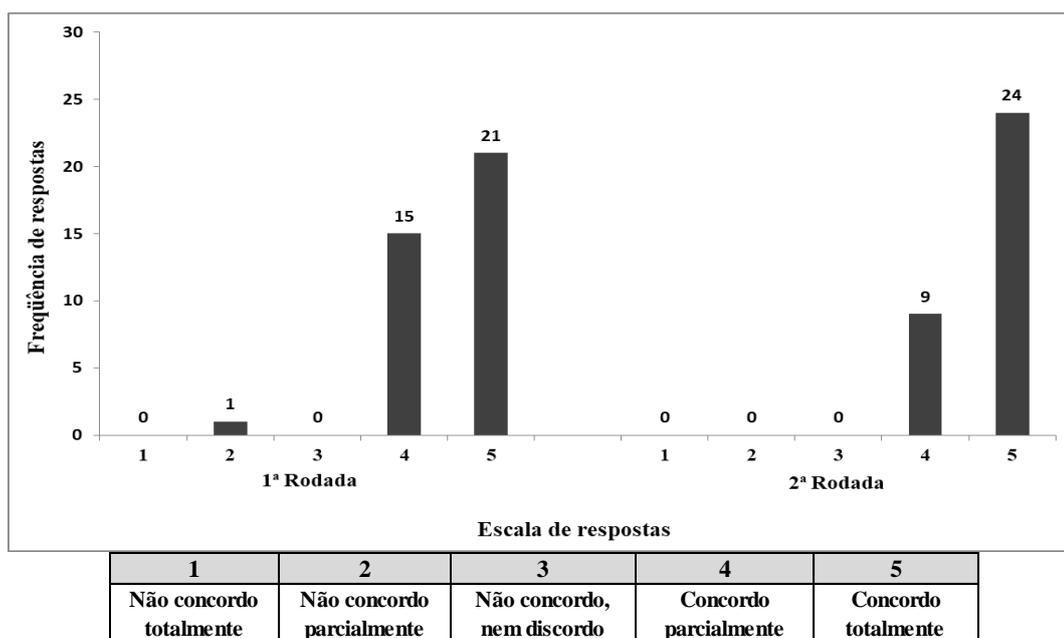


6) Melhoria nos processos para fabricação de produtos industriais.

A Manufatura Aditiva é ideal para prototipagem por possibilitar custos menores comparativamente aos métodos convencionais (por exemplo, uso de CNC) para produção de lotes pequenos ou unitários, como no caso de protótipos, permite rápida e fácil alteração no projeto e no produto e por apresentar baixo tempo de produção (VOLPATO, 2007; MANYIKA et al., 2013; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016). O construto 6 tem a intenção de investigar se a melhorias nos processos para fabricação de produtos industriais devem sofrer

algum impacto significativo com a Manufatura Aditiva. Esse construto apresentou consenso já na primeira rodada com um Coeficiente de Variação de 14% e de 11% na segunda rodada. As respostas mostradas no Gráfico 11 se concentraram em concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5). Pesquisas na literatura mostram que esse construto já é um fato concreto. Nos países que investem forte no aprimoramento da Manufatura Aditiva, já é perceptível a melhoria nos processos produtivos de peças em metal ou plástico (ABS ou PLA) e até na utilização de outros tipos de matérias primas para Manufatura Aditiva. No Brasil esse construto pode ser visualizado de forma tímida em algumas indústrias, uma vez que muitas empresas multinacionais estão presentes nos países considerados em desenvolvimento emergente como o Brasil e com isso acabam difundindo essas tecnologias para suas filiais, principalmente a indústria automobilística.

Gráfico 11 - Histograma das respostas do construto 6

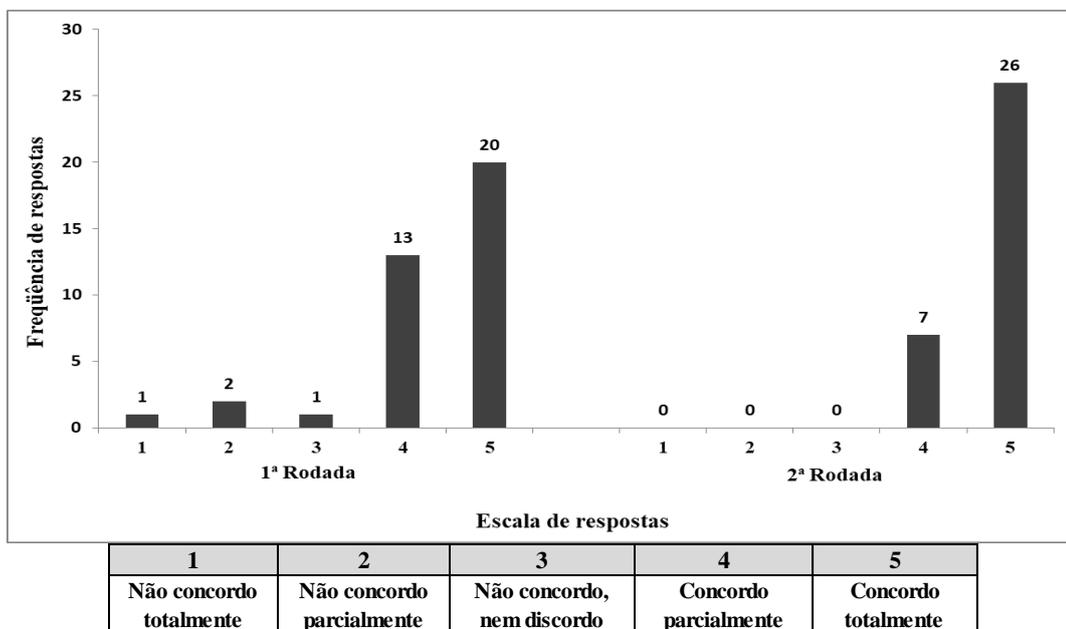


7) Aumento na oferta de mix de produtos.

Uma das consequências da Manufatura Aditiva é a possibilidade de fabricação de produtos complexos e difíceis de serem produzidos pela manufatura convencional. Esses novos processos de fabricação devem facilitar e aumentar a criação e oferta de novos produtos (CROWTHER e COOK, 2007; VOLPATO, 2007; SCHWAB, 2016; MANYIKA et al., 2013). Conforme apresentado no Gráfico 12 os resultados do construto 7, todos os especialistas concordaram parcialmente (4) ou totalmente (5) com a questão na segunda rodada. O

Coeficiente de Variação desse construto ficou em 26% na primeira rodada, caindo para 9% na segunda rodada chegando ao consenso. A customização de alguns produtos é uma necessidade do consumidor, mas a flexibilidade das indústrias atuais para produzir produtos personalizados ainda enfrenta dificuldades, mas a Manufatura Aditiva está ajudando a resolver esse problema. A tecnologia de manufatura convencional não pode produzir peças ou produtos com *design* complexo, já com uso da Impressão 3D, esse problema é resolvido e com baixo custo de produção. Mesmo que a tecnologia ainda seja usada fortemente para impressão de protótipos, já existem organizações que utilizam a Manufatura Aditiva para impressão de peças finais em diversos tipos de materiais.

Gráfico 12 - Histograma das respostas do construto 7

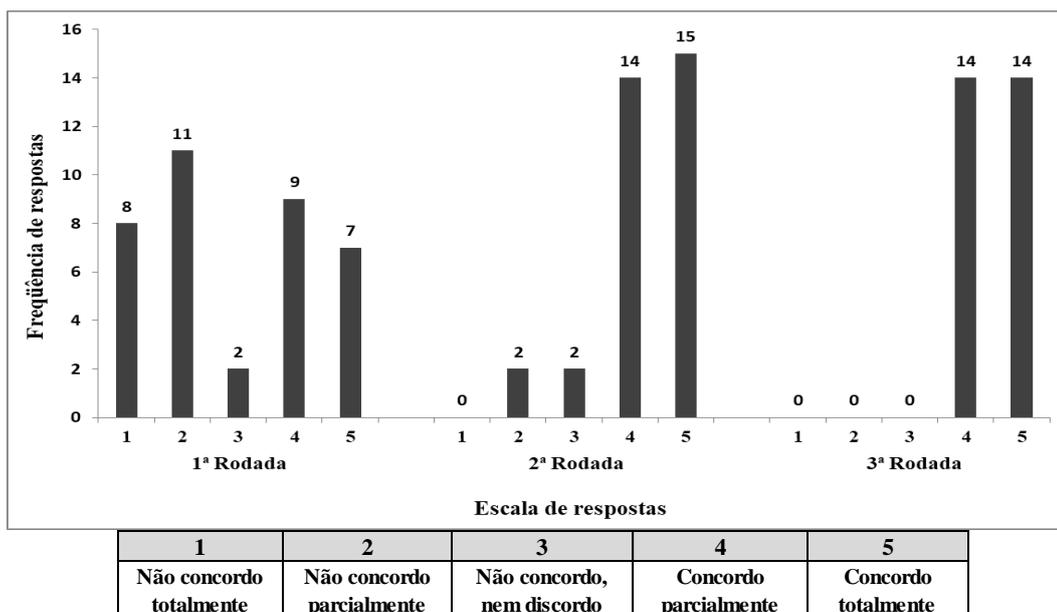


8) Flexibilidade no volume de produção.

Uma das necessidades da manufatura convencional é ter flexibilidade de volume de produção para atender necessidades dos clientes. Os custos de produção normalmente são altos e é preciso um volume mínimo de pedido para que sua fabricação seja viável economicamente. A Manufatura Aditiva já vem sendo usada como um processo de atendimento desses pedidos (KITSON, et. al., 2016; et al. VOLPATO, 2006; CROWTHER e COOK, 2007, MANYIKA et al., 2013; SCHWAB, 2016). Na primeira rodada o construto apresentou um Coeficiente de Variação de 52%. Já na segunda o coeficiente caiu para 21%, sendo enviado para terceira rodada e chegando a 11% de Coeficiente de Variação e, portanto,

ao consenso. Conforme mostrado no Gráfico 13, a maioria dos especialistas concordou parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto. Durante as rodadas alguns especialistas fizeram os seguintes comentários: *Cria possibilidade, mas dependerá da gestão em fazer acontecer; o volume de produção será sempre finito. Mas, as alterações podem ser feitas com maior agilidade. Flexibilidade para lotes menores sim, mas não em larga escala. Acredito que o aprimoramento constante irá contribuir para volume. Sempre haverá a questão relacionada ao paradigma de aumentar o volume, sem comprometer a flexibilidade característica. Há cada vez mais a esperança na criação dos lotes únicos, e que a Manufatura Aditiva possibilite uma maior flexibilização nos volumes de produção. Porém este ponto depende da evolução tecnológica da indústria, de seu nível de digitalização e automação de seus processos muito mais do que da tecnologia de Impressão 3D.* A empresa 3M atende pedidos de clientes em baixa escala utilizando impressoras 3D para produzir peças, acessórios, equipamentos entre outros, sem a necessidade de utilizar linha de produção convencional e satisfazendo a necessidade do cliente. A pesquisa da literatura mostra que outras empresas já estão fazendo uso da Manufatura Aditiva de forma estratégica para atender aos pedidos de baixo volume de seus clientes ou para produzir produtos com design complexo que se tornaria inviável pela manufatura convencional. Tudo indica que a flexibilidade no volume de produção talvez seja uma das maiores vantagens da Manufatura Aditiva.

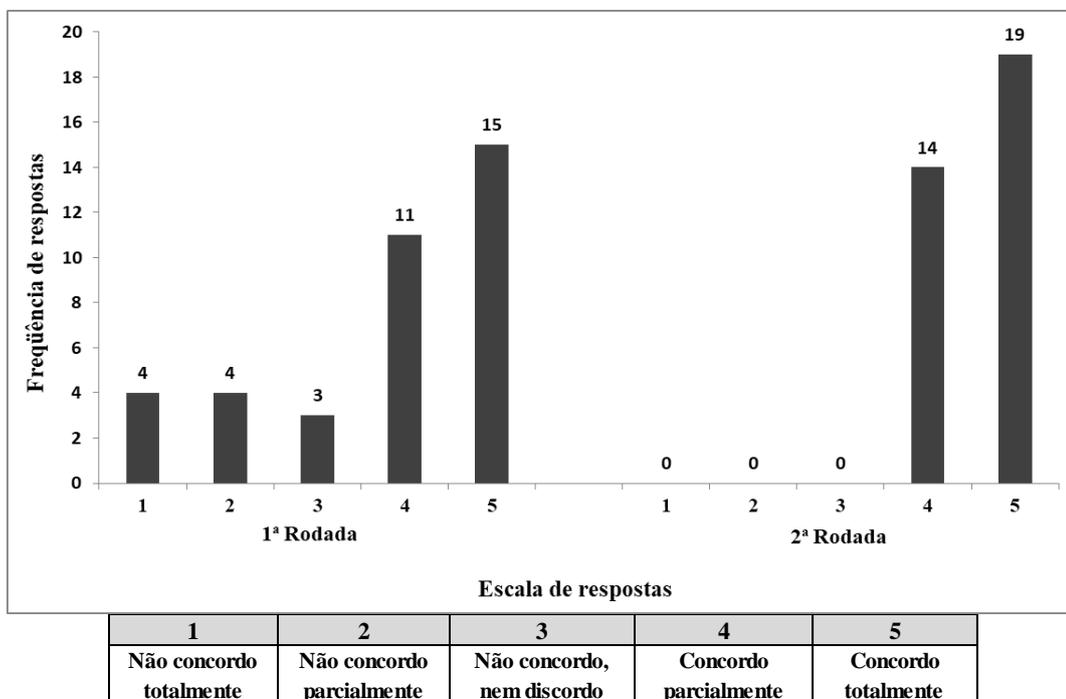
Gráfico 13 - Histograma das respostas do construto 8



9) Redução de desperdício de matéria prima.

Alguns autores defendem que a Manufatura Aditiva pode ajudar a reduzir os desperdícios de matéria prima. Testes apontam que a fabricação de produtos utilizando essa manufatura é mais limpa e precisa, uma vez que os métodos convencionais de manufatura geram perdas entre os meios de produção (VOLPATO, 2007; MANYIKA et al., 2013; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016). O construto 9 apresentou um Coeficiente de Variação na primeira rodada de 36%. Feita a consolidação dos dados estatísticos e enviada para os entrevistados, a segunda rodada baixou seu Coeficiente de Variação para 11%. Sendo assim, os entrevistados chegaram a um consenso. O Gráfico 14 mostra que a maioria das respostas ficaram entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5). A Impressão 3D utiliza a matéria prima para produzir uma peça ou produto de forma bem mais eficiente do que a manufatura convencional, isso é uma vantagem competitiva significativa para as indústrias. Nos processos atuais de manufatura existe uma perda considerável de matéria prima para produção de peças de metal, mas, com o uso da Impressão 3D, esse desperdício é minimizado, uma vez que quase não existem sobras de materiais oriundos da produção de peças.

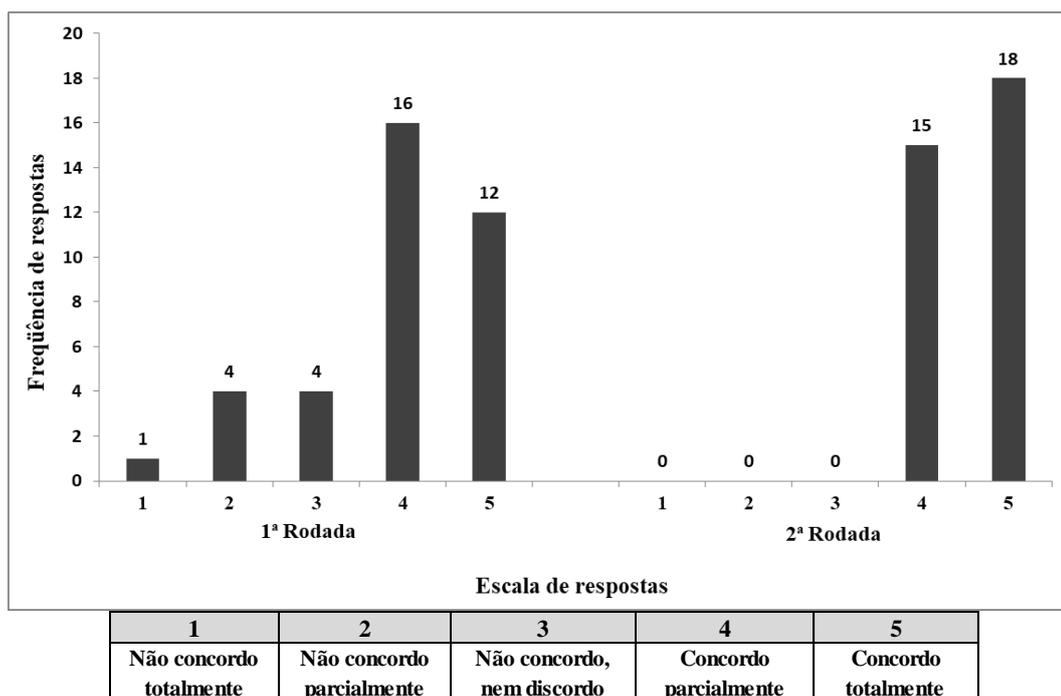
Gráfico 14 - Histograma das respostas do construto 9



10) Agilidade no atendimento à necessidade do cliente.

O construto 10 investiga se a Manufatura Aditiva deve influenciar ou oferecer mais agilidade aos pedidos dos clientes (PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; et al. VOLPATO, 2007; MANYIKA et al., 2013; SCHWAB, 2016). O Coeficiente de Variação desse construto na primeira rodada ficou em 27%; encaminhado para segunda rodada ficou em 15% alcançando o consenso entre os especialistas. O Gráfico 15 mostra que a maioria das respostas ficaram entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5). O construto e a pesquisa da literatura mostram que esse construto está se tornando uma realidade para os pequenos lotes de fabricação com uso da Manufatura Aditiva. Em médio e longo prazo e, com o avanço dessa tecnologia, será possível que esse construto se apresente nas linhas normais de produção como uma alternativa de fabricação para produtos em escala maior.

Gráfico 15 - Histograma das respostas do construto 10

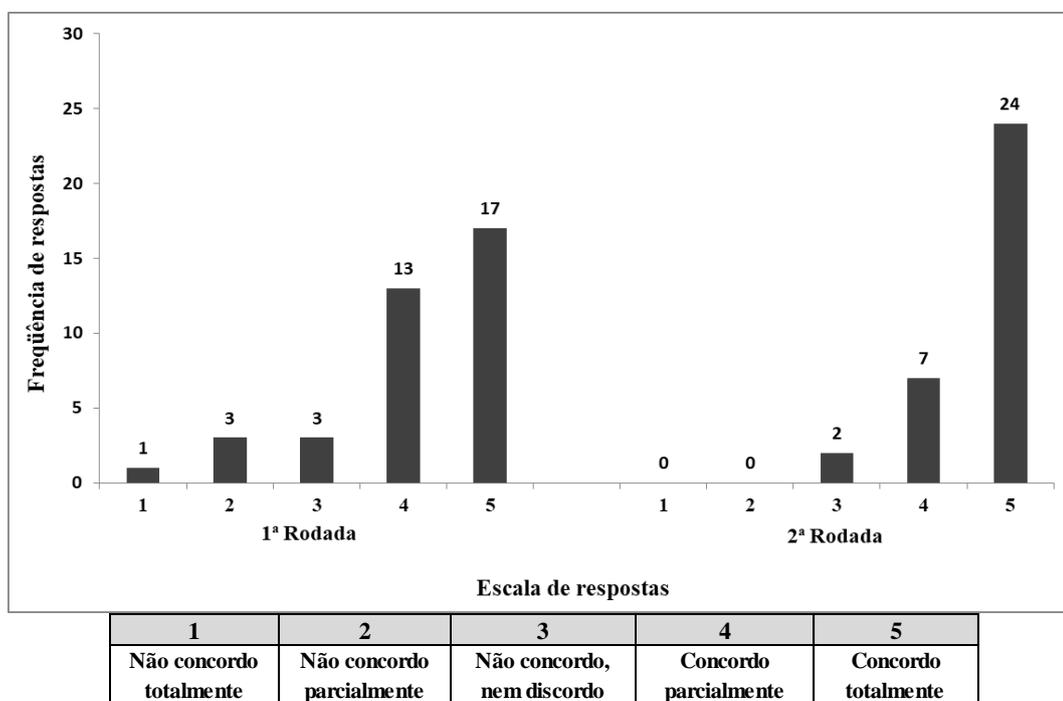


11) Redução no preço de compra de impressoras 3D industriais.

Com o avanço da Tecnologia de Manufatura Aditiva e seguindo o princípio da Lei de Moore, em meados de 1965 o empresário Gordon E. Moore fez sua profecia, na qual o número de transistores dos chips teria um aumento de 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses. Essa profecia tornou-se realidade e acabou ganhando o nome de Lei de Moore. Essa previsão tem se tornado presente nas impressoras 3D industriais que estão

ficando com custo cada vez mais acessível para empresas menores (HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006; CHUA; LEONG; LIM, 2010; IGOE e MOTA, 2011; GUSTIN, 2012). Na primeira rodada o Coeficiente de Variação do construto 11 apresentou 20%; sendo enviado para segunda rodada ficou em 11% chegando ao consenso. A maioria das respostas mostradas no Gráfico 16 ficou entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5) na primeira rodada; na segunda, as respostas de concordo totalmente (5) foram maioria. Pesquisas mostram que o preço de compra de uma impressora 3D caiu consideravelmente nos últimos anos. O custo de compra das impressoras 3D industriais ainda é uma das principais barreiras para que as empresas possam fazer uso dessa tecnologia.

Gráfico 16 - Histograma das respostas do construto 11



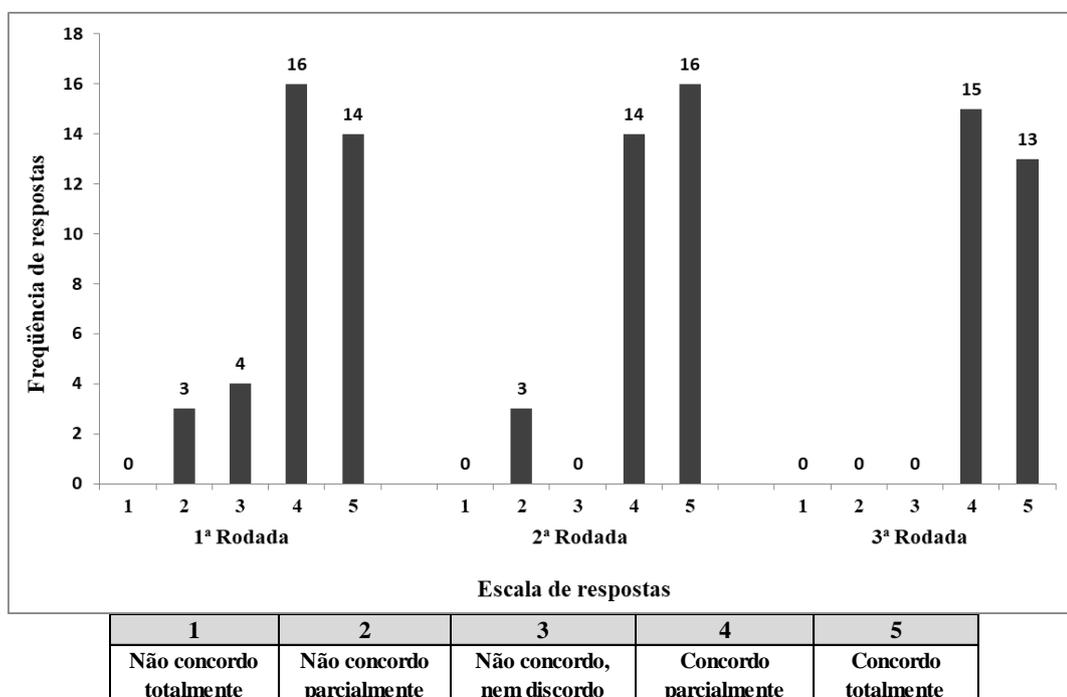
12) Redução do preço final de produtos fabricados por Manufatura Aditiva.

O construto 12 investiga se a redução de desperdícios e do *lead time* de fabricação de entrega pode influenciar na redução do preço final dos produtos fabricados pela Manufatura Aditiva conforme a opinião de diversos autores (LINDBERG, 1994; CO, PATUWO e HU, 1998; VOLPATO, 2007. MANYIKA et al., 2013; SCHWAB, 2016). Na primeira rodada o construto ficou com 20% de Coeficiente de Variação; enviado para segunda rodada o construto apresentou 21% de Coeficiente de Variação, necessitando, portanto, de uma terceira

rodada. Na terceira rodada, o construto baixou seu coeficiente para 11%, atingindo o consenso necessário. A maioria das respostas mostradas no Gráfico 17 ficou entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5) nas três rodadas. Foram feitos alguns comentários pelos especialistas durante as rodadas: *Alguns componentes impressos em 3D ainda são mais caros de que seu similar feito de maneira convencional. Se o empresário estiver no ramo em que preço é o fator competitivo, isso é verdade. Caso contrário, não. O Custo pode ser reduzido, mas não necessariamente repassado para o cliente final. Pode ocorrer um equilíbrio. A maior facilidade está na redução de preço. Contudo, a maior especificidade de produto é agregar valor. Portanto, creio que ocorrerá equilíbrio neste ponto.*

A facilidade de impressão de produtos em qualquer ponto da Cadeia de Suprimentos reduz custos de transportes, armazenagem do produto pronto e agiliza a necessidade de entrega ao cliente final. É possível que essa redução de custos seja repassada para o valor final da peça e acabe tornando o produto mais viável para o cliente. No entanto, percebe-se de forma mais contundente que a Manufatura Aditiva deve agregar valor ao produto fabricado, o que não implica necessariamente em redução de custos.

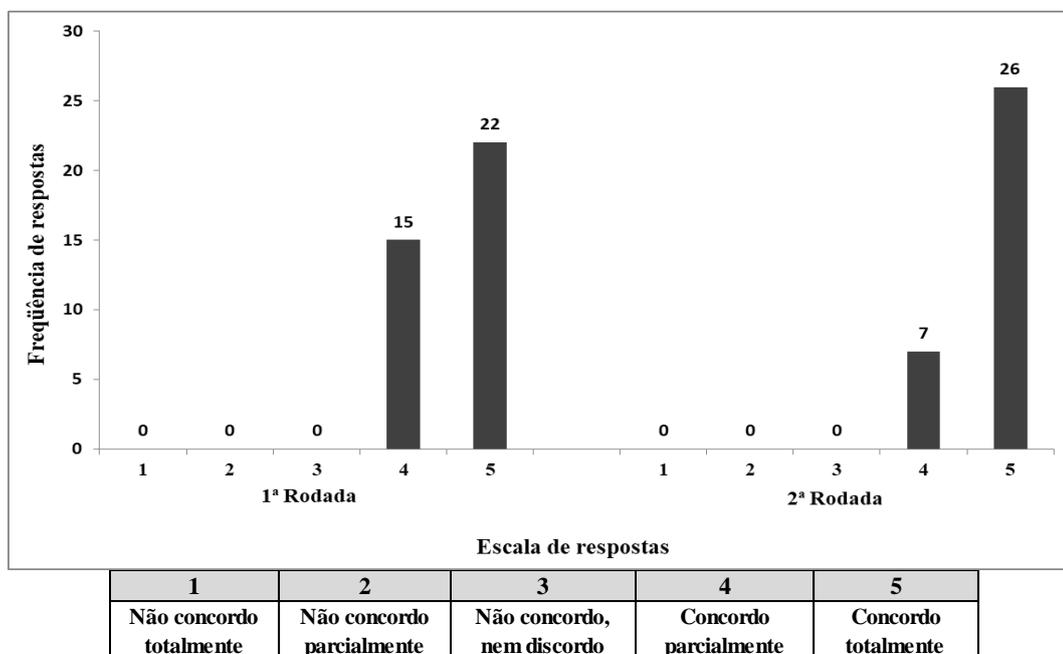
Gráfico 17 - Histograma das respostas do construto 12



13) Redução nos custos de armazenagem de peças sobressalentes no almoxarifado.

Com o avanço da tecnologia e a difusão das impressoras 3D nas organizações, o volume de peças em estoque para atender as necessidades de produção pode reduzir em médio e longo prazo. Nesse construto os custos de redução de estoques e armazenamento de peças sobressalentes (MRO - Manutenção, Reparo e Operações) nos almoxarifados já estão se tornando uma realidade nas empresas que utilizam a Tecnologia de Impressão 3D, conforme os autores (KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016). As respostas dos especialistas se concentraram entre concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5) nas duas rodadas, conforme mostra o Gráfico 18. O Coeficiente de Variação ficou em 10% na primeira rodada e 9% na segunda rodada. Uma das finalidades da aquisição de impressoras 3D por grandes empresas norte americanas, europeias e asiáticas é a busca para reduzir o acúmulo de peças estocadas nos seus depósitos. É importante ressaltar que não acontecerá uma eliminação de estoques, uma vez que a matéria prima para Manufatura Aditiva continuará tendo que existir, porém existirá uma diminuição do mix de produtos estocados. Tudo que possa ser fabricado por uma impressora 3D será armazenado apenas de forma virtual aguardando um comando para ser impresso.

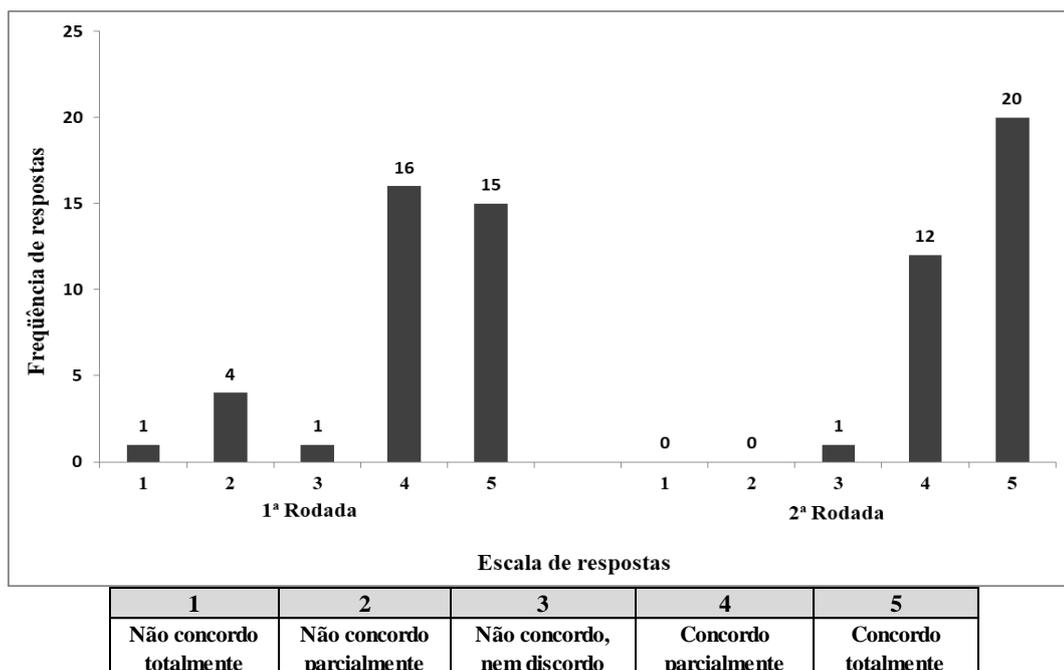
Gráfico 18 - Histograma das respostas do construto 13



14) Redução nos custos de estoques de produtos acabados para revenda.

Uma vez que o construto 13 apresentou as possibilidades de redução do mix de produtos estocados de peças sobressalentes com a Impressão 3D, como consequência, os custos de armazenamento com produtos acabados para revenda também tendem a reduzir. Sendo assim, o construto 14 investiga se acontecerá o mesmo efeito para os produtos acabados de revenda impressos pela Manufatura Aditiva, conforme a opinião dos autores (KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016). Os entrevistados chegaram a um consenso na segunda rodada sobre esse construto, cujo Coeficiente de Variação ficou em 19% na primeira rodada, contra 12% apresentado na segunda rodada. O Gráfico 19 mostra que a maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas duas rodadas. Ainda é difícil de mensurar de forma quantitativa qual o percentual de redução desses custos e em quais áreas especificamente isso deve ocorrer. Algumas empresas estão desenvolvendo pesquisas, testes e implementando a tecnologia em seus processos, no entanto, as possibilidades de uso da Impressão 3D são grandes, possibilitando a redução em diversas áreas. A Mercedes-Benz Trucks já possui um modelo de loja nos EUA e Europa onde algumas peças sobressalentes de seus veículos são fabricadas por impressoras 3D, dentro das suas concessionárias e oficinas, reduzindo o espaço de armazenamento de estoques.

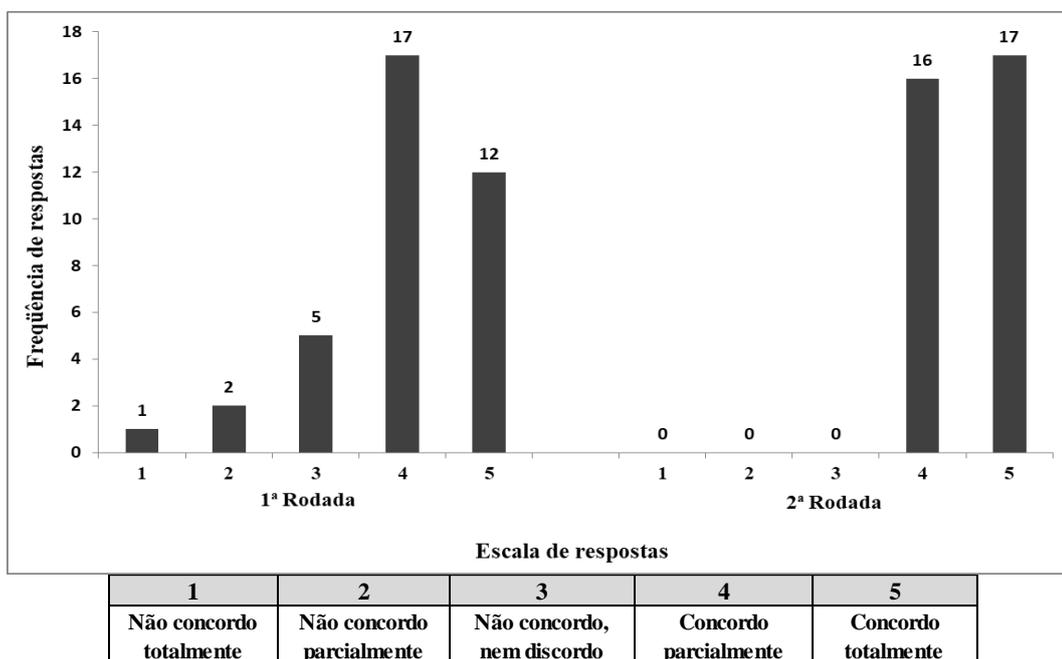
Gráfico 19 - Histograma das respostas do construto 14



15) Redução no volume de mercadorias transportadas.

A difusão da Manufatura Aditiva e, conseqüentemente, a Impressão 3D de produtos mais próximos do cliente final pode influenciar os transportes de mercadorias. Estima-se que cerca de 10% dos produtos transportados hoje pelas cadeias de distribuição normais serão fabricados por impressoras 3D (MANYIKA et al., 2013). O Coeficiente de Variação para esse construto na primeira rodada foi de 23%, não chegando ao consenso. Enviado para segunda rodada, o construto agora apresenta 11% de Coeficiente de Variação, alcançando o consenso. Na maioria das respostas mostradas no Gráfico 20, os especialistas concordam parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas duas rodadas. Os impactos da Manufatura Aditiva sobre o transporte de produtos devem acontecer, mas de forma não tão considerada, uma vez que existirá um aumento no transporte de matéria prima para impressoras. No Brasil, a necessidade de demanda por transporte, principalmente rodoviário, é grande e de fato pode ser menos impactante em médio e longo prazo.

Gráfico 20 - Histograma das respostas do construto 15

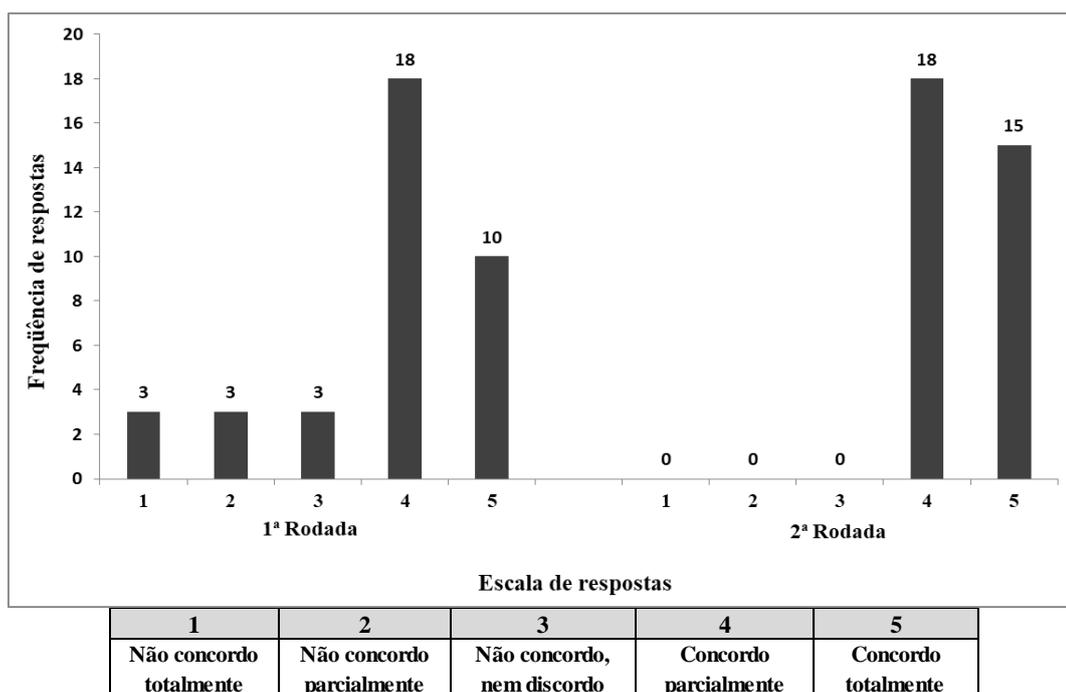


16) Deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final.

O objetivo do construto 16 é investigar se ocorrerá de fato o deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final, com a difusão da Manufatura Aditiva, conforme preconizam os autores (MANYIKA et al., 2013; CUNICO, 2014;

SCHWAB, 2016, KITSON, et. al., 2016). O consenso sobre o construto foi atingido com 15% na segunda rodada, contra 29% na primeira rodada. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas duas rodadas, conforme mostrado no Gráfico 21. O deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final já tem acontecido de forma comercial, existem lojas de Impressão 3D para venda de produtos personalizados considerados presentes, em shoppings e lojas de rua. Esses produtos não respondem mais a uma cadeia normal de produção e distribuição, uma vez que são fabricados diretamente no varejo. O deslocamento da produção para próximo do consumidor final será uma realidade, mas de forma não muito significativa, pois ainda existe uma demanda muito grande por produtos fabricados em massa, e essa ainda é uma responsabilidade das linhas de produção.

Gráfico 21 - Histograma das respostas do construto 16

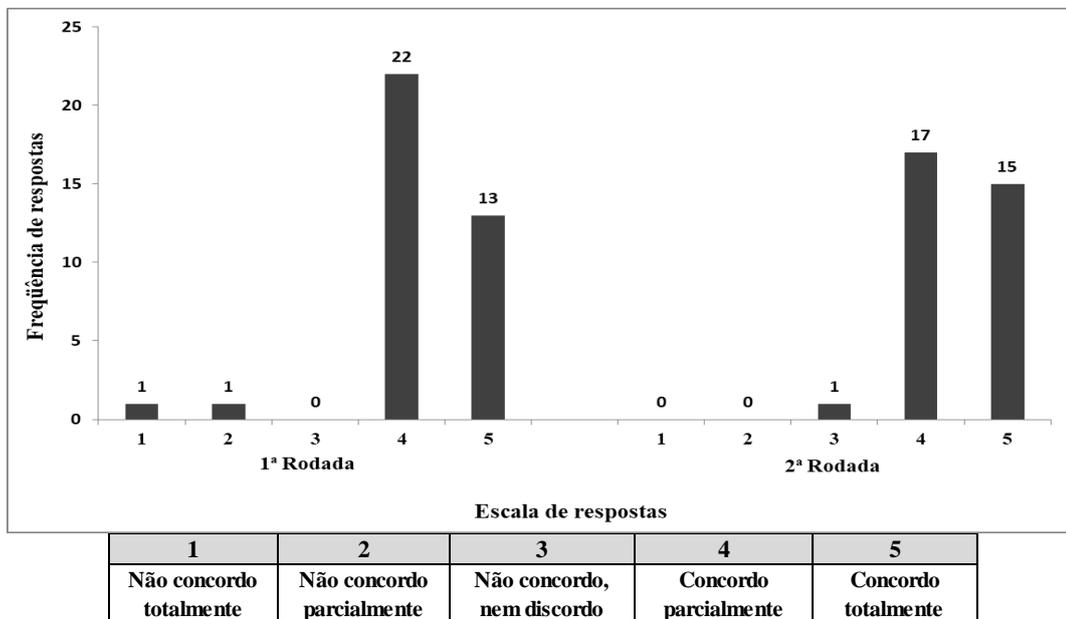


17) Simplificação da Cadeia de Suprimentos.

A investigação do construto 17 busca saber se o deslocamento da produção de alguns produtos para mais próximo do cliente final pode gerar uma simplificação da Cadeia de Suprimentos para esses produtos e se novos conceitos ou arquiteturas da Cadeia de Suprimentos podem surgir conforme preconizam os autores (PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; VOLPATO, 2007; MANYIKA et al., 2013; SCHWAB, 2016).

Nesse construto o Coeficiente de Variação ficou em 20% na primeira rodada e em 13% na segunda rodada. O Gráfico 22 mostra que a maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas duas rodadas. As empresas terão que repensar suas estratégias logísticas com a Impressão 3D. O surgimento de novos negócios envolvendo a Tecnologia Aditiva deve modificar as Cadeias de Suprimentos de produtos, peças, equipamentos entre outros. O uso das impressoras 3D mostra-se um potencial como um diferencial competitivo para atrair clientes. Existe uma expectativa de que os fornecedores logísticos acompanhem a evolução da cadeia produtiva junto com o uso da Impressão 3D, com objetivo de reduzir o tempo de espera na entrega de peças e matéria prima.

Gráfico 22 - Histograma das respostas do construto 17

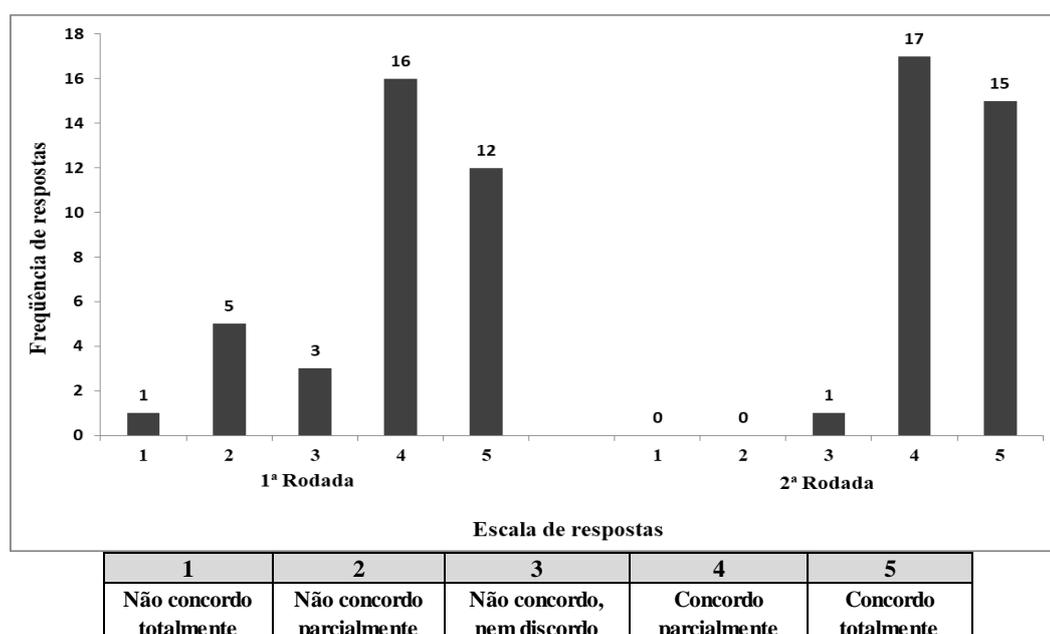


18) Redução de *Lead Time* de entrega.

Acompanhando os construtos 16 e 17, o construto 18 sugere que existirá uma redução do *Lead Time* de entrega de produtos fabricados por Impressão 3D. Isso deve ocorrer não somente no varejo, mas em todos os agentes da Cadeia de Suprimentos de acordo com os autores (PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; VOLPATO, 2007; MANYIKA et al., 2013; SCHWAB, 2016). O Coeficiente de Variação do construto 18 ficou em 23% na primeira rodada e 15% na segunda rodada, atingindo o consenso. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas duas rodadas, conforme demonstra o Gráfico 23. A fabricação de peças e equipamentos de uso industrial

pelo processo de Manufatura Aditiva já vem sendo usada por empresas de grande porte inclusive no Brasil. Além disso, empresas do ramo aeroespacial e automobilístico são as maiores interessadas nesse processo, tendo em vista que a agilidade de entrega de peças e a diminuição de peso das peças produzidas por Manufatura Aditiva é um diferencial que ajuda na redução do consumo de combustível. A Alemanha concentra uma das maiores unidades de pesquisa sobre Manufatura Aditiva com foco principal em peças para aviões o recém-inaugurado Centro Tecnológico de Manufatura Aditiva da *Thyssenkrupp*, situado em *Mülheim an der Ruhr*, na Alemanha. Outros interessados como a Airbus, Mercedes-Benz, Volvo, Audi, General Eletric, BMW, Ford, Centros de Pesquisas, Universidades Europeias, Asiáticas e dos EUA como *The Association for Manufacturing Technology* (AMT). Seria possível tanto produzir a peça desejada, quanto reparar peças e ferramentas desgastadas por meio da recomposição aditiva, camada por camada do material.

Gráfico 23 – Histograma das respostas do construto 18

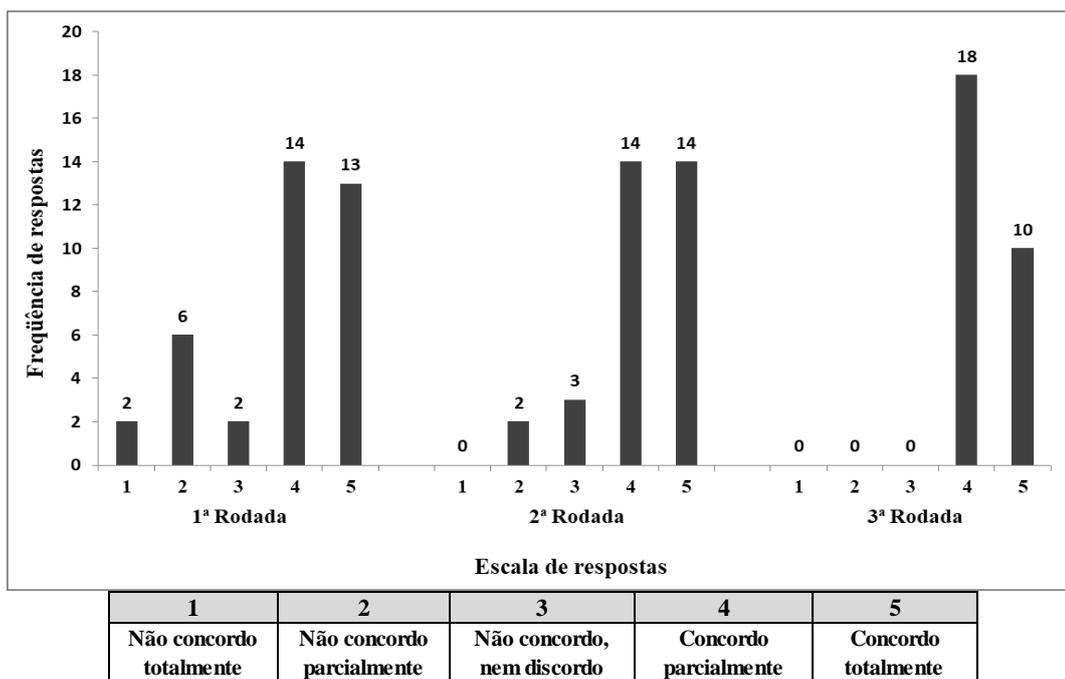


19) Redução no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes.

Com o consenso do construto 15 e 18, o construto 19 investiga se ocorrerá uma diminuição no consumo de combustível principalmente aeroespacial e consequentemente na emissão de poluentes com a difusão da Impressão 3D, conforme os autores (CO, PATUWO e HU, 1998; SLACK e LEWIS, 2001; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014). Na primeira rodada o construto apresentou 25% de Coeficiente de Variação. Após ser enviado para segunda

rodada o CV reduziu para 16%, sendo necessária uma terceira rodada. O consenso foi atingido na terceira rodada com um Coeficiente de Variação de 13%, tendo as respostas se concentrado em concordo parcialmente (4) e concordo totalmente (5), de acordo com o Gráfico 24. Segue também alguns comentários dos especialistas durante as rodadas: *Acredito que sim, em função da racionalização e otimização ao extremo da funcionalidade de produtos e serviços. Quando se viabilizar em larga escala, sim. Se esta questão tem a ver com o consumo de combustível por conta da Logística de entrega de produtos finais, reduzida por conta da Manufatura Aditiva, sim, em larga escala deve acontecer uma redução no consumo de combustível.* Os testes de empresas aéreas e automobilísticas já têm demonstrado uma redução no consumo de combustível com veículos que possuem peças mais leves produzidas por Manufatura Aditiva.

Gráfico 24 - Histograma das respostas do construto 19



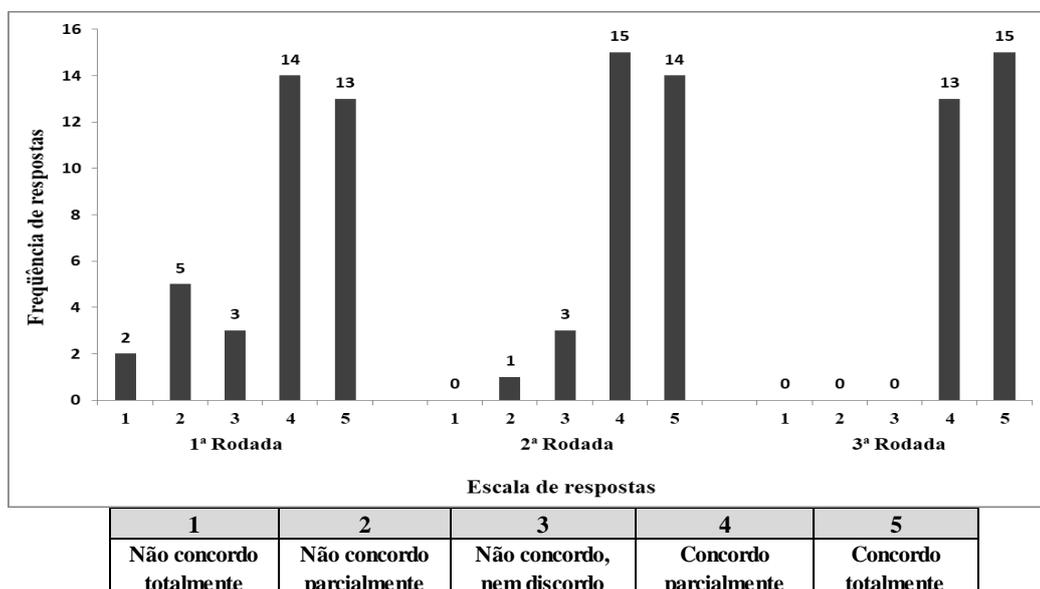
20) Impacto no lucro das transportadoras.

O construto 20 investiga se com a difusão da Manufatura Aditiva a produção de produtos mais próximos do cliente final pode causar impactos no lucro das transportadoras, conforme os autores (EASTON, 2011; LASALLE, 2013; LOBO, CARTER, 2014). Na primeira rodada o construto ficou com 29% de Coeficiente de Variação, necessitando de mais uma rodada. Na segunda rodada o Coeficiente de Variação atingiu 18% não chegando ao

consenso, sendo enviado para uma terceira rodada. Na última rodada, o consenso entre os entrevistados foi atingido com 10% de Coeficiente de Variação. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto nas três rodadas, conforme mostra o Gráfico 25. Sobre esse tema os especialistas comentam que de acordo com a *Jones Land LaSalle EMEA Research (2011)* a Impressão 3D tem o potencial de transformar as Cadeias de Manufatura e de Suprimentos - como as conhecemos. Diz o pesquisador: “Nos próximos anos, a fabricação de aditivos criará uma demanda por ambientes de manufatura menores e localizados, capazes de produção customizada, encurtamento de lead time e cortes nos custos de transporte”. As transportadoras continuarão a ter sua importância, contudo, poderão não ser mais vitais para alguns negócios. Matéria prima (para Impressão 3D) continuará a ter que ser transportada nos mesmos volumes.

Alguns especialistas acreditam que é possível que as transportadoras sintam de forma tímida os impactos da produção de produtos por Manufatura Aditiva ao longo da cadeia, principalmente de produtos que agora podem ser fabricados de forma aditiva diretamente no comércio, como brindes, presentes e produtos personalizados. Porém essa tecnologia continuará a depender dos transportes para receber sua matéria prima (os filamentos). Sendo assim, os impactos podem ser minimizados com o aumento no transporte de filamentos e outras matérias primas essenciais para produção de Manufatura Aditiva. Outro ponto importante a se destacar é que a produção em massa de produtos deve continuar a existir e a necessidade de distribuição dessa produção também.

Gráfico 25 - Histograma das respostas do construto 20



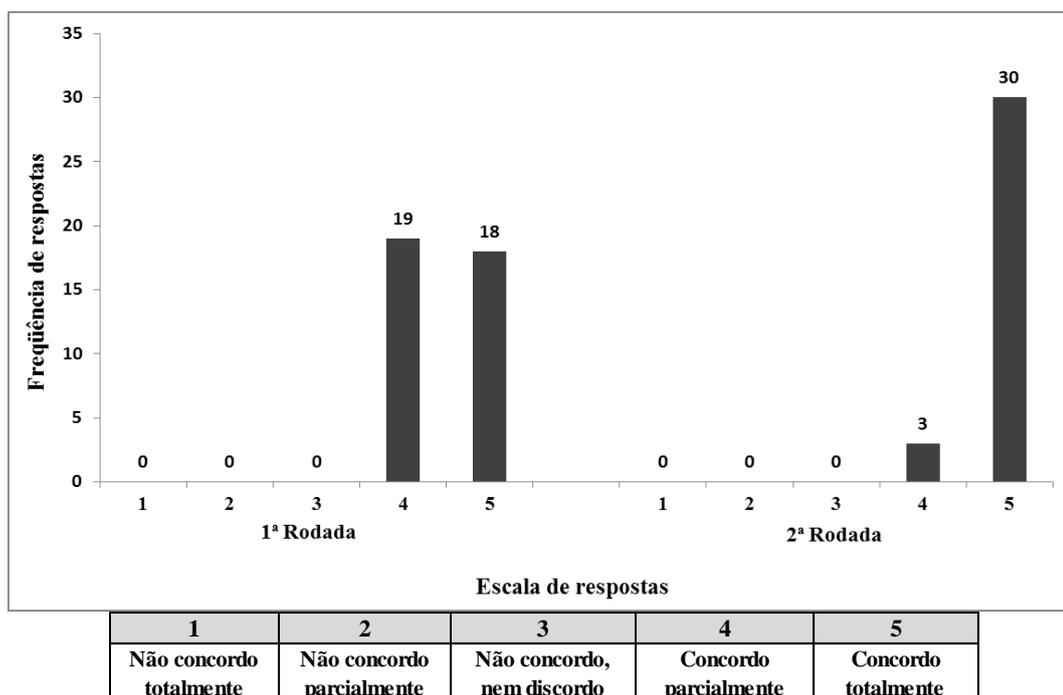
21) Novas estratégias e um novo modelo para Cadeia de Suprimentos.

O construto 17 mostrou que pode existir uma simplificação da Cadeia de Suprimentos, inclusive novos conceitos de distribuição de produtos. No construto 21 investiga-se o surgimento de novas estratégias empresariais utilizando a Manufatura Aditiva e, conseqüentemente, um novo modelo de arquitetura para Cadeia de Suprimentos para atender as demandas dos clientes, conforme citam os autores (LUO, 1999; MORROW, 2006; REEVES & MENDIS, 2015, 2008; BOURELL; LEU; ROSEN, 2009; CARTER, EASTON, 2011; VAYREA et al., 2012; HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013; MCKINSEY, 2013; LOBO, 2014). O consenso desse construto foi atingido na primeira rodada com 11% de Coeficiente de Variação. Sendo enviado para segunda rodada, conforme preconiza o método Delphi, o Coeficiente de Variação reduziu para 6%.

O Gráfico 26 mostra que a maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) com o construto na primeira rodada e quase todos os especialistas chegaram ao consenso na segunda rodada concordando totalmente (5) com o construto. Alguns comentários foram feitos pelos especialistas sobre esse construto: *Um novo relatório sobre Impressão 3D lançado em 2016, pelo provedor de Logística global DHL, sugere que a indústria tem o potencial de redefinir estratégias de fabricação e Cadeia de Suprimentos. O relatório: Impressão 3D e o Futuro das Cadeias Produtivas diz que a tecnologia precisa se tornar mais rápida, mais ágil e mais avançada antes de se tornar uma tecnologia de produção de núcleo. No entanto, ele continua a reconhecer a Impressão 3D como uma tecnologia potencialmente transformadora tendo reconhecido como uma das principais tendências perturbadoras a impactar o setor de Logística em um futuro próximo.*

Essas estratégias resultarão principalmente na redução do tempo de entrega e dos custos de alguns produtos para o cliente final. Os agentes formadores das Cadeias de Suprimentos necessitarão estabelecer novas estratégias que visem incluir a tecnologia de Manufatura Aditiva como um diferencial competitivo para atender clientes com necessidades de baixo volume de produção ou que necessitem de agilidade na entrega de produtos. Essas estratégias redefinirão os conceitos de Cadeias de Suprimentos ou criarão novos conceitos de distribuição de produtos.

Gráfico 26 - Histograma das respostas do construto 21

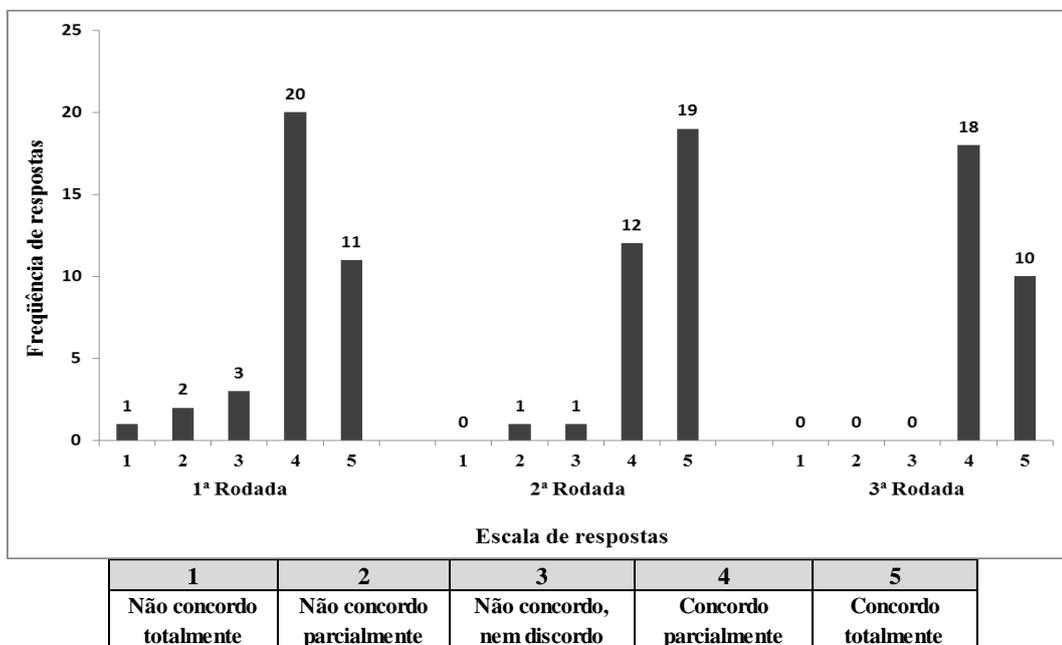


22) Redução no valor das mercadorias impressas em 3D.

Esse construto busca investigar se com o possível redesenho de algumas Cadeias de Suprimentos e novas estratégias de distribuição apoiadas pela Manufatura Aditiva, alguns produtos fabricados em impressoras 3D não necessitarão percorrer grandes distâncias. Esse fator pode reduzir os custos operacionais e principalmente de transporte, influenciando nos custos de alguns produtos produzidos por Manufatura Aditiva conforme alguns autores (WEIL 1966; KRUTH 1998; VOLPATO, 2007; CAMPBELL, 2011; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; KITSON, et. al., 2016). Na primeira e segunda rodada o construto não apresentou consenso necessário para ser validado, com um Coeficiente de Variação de 19% e 19% respectivamente. Encaminhado para uma terceira rodada com os entrevistados, o construto chegou ao Coeficiente de Variação de 11%, atingindo o consenso. O Gráfico 27 mostra que a maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas três rodadas. Até o momento o grande diferencial que a Manufatura Aditiva está causando é na agilidade da produção de pequenos lotes ou peças únicas e personalizadas. De forma industrial, a produção de pequenas quantidades de produtos torna-se cara e muitas vezes inviável para produzir. A Manufatura Aditiva seria a opção ideal para esse tipo de produção. Sendo assim, mesmo atualmente já é possível que esses produtos tenham um custo menor ao

consumidor final e, com avanço da tecnologia, existe uma tendência de se tornarem ainda mais acessíveis.

Gráfico 27 - Histograma das respostas do construto 22

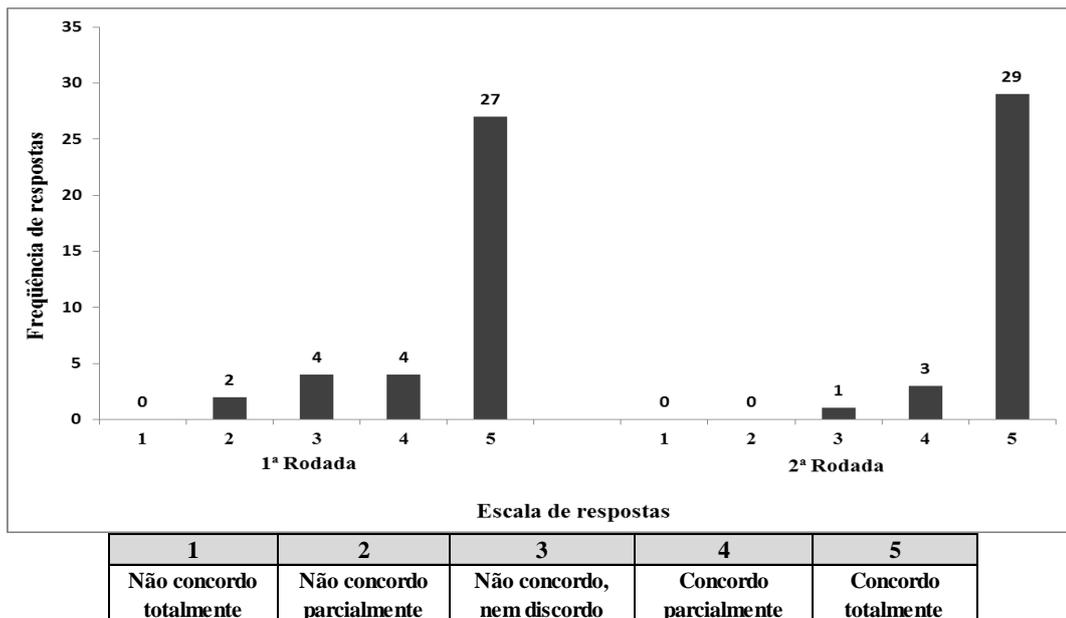


23) Surgimento de novos negócios envolvendo Impressão 3D.

O objetivo do construto 23 é investigar a criação de pequenos centros ou redes de fabricação de Manufatura Aditiva para atender demandas (bens de consumo) de pessoas físicas e/ou empresas locais e o surgimento de novos negócios empresariais, uma vez que as empresas podem se unir para realizar a aquisição de uma impressora 3D industrial de alto valor, mas que pode servir como um equipamento útil para fabricação de peças de reposição de máquinas ou para fabricação de ferramentas específicas com baixo volume de fabricação, segundo a visão dos autores (DAY, 2011; GERAEDTS, J.; VERLINDEN, E. D. J.; STELLINGWERFF, 2012; WISHBOX, 2016). O Coeficiente de Variação ficou em 16% na primeira rodada e de 15% na segunda rodada, demonstrando consenso entre os entrevistados. O Gráfico 28 mostra que a maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas duas rodadas. A resposta dos entrevistados demonstrou que o surgimento de novos negócios envolvendo Manufatura Aditiva já é uma realidade, principalmente no comércio e/ou na prestação de serviços. A empresa Amazon acaba de abrir uma loja dedicada à Impressão 3D, que vende impressoras, acessórios e matéria-prima para impressoras 3D. Na Europa já existem lojas que realizam serviços de Impressão 3D de peças e equipamentos

industriais para qualquer empresa que necessite de um produto personalizado, além das lojas de comércio que fazem uso da Impressão 3D como ferramenta de produção de brindes e presentes, o que levanta outra questão, os direitos de patentes e de autoria de peças relacionadas a jogos ou cinema e que será abordado nos três últimos construtos da pesquisa.

Gráfico 28 - Histograma das respostas do construto 23



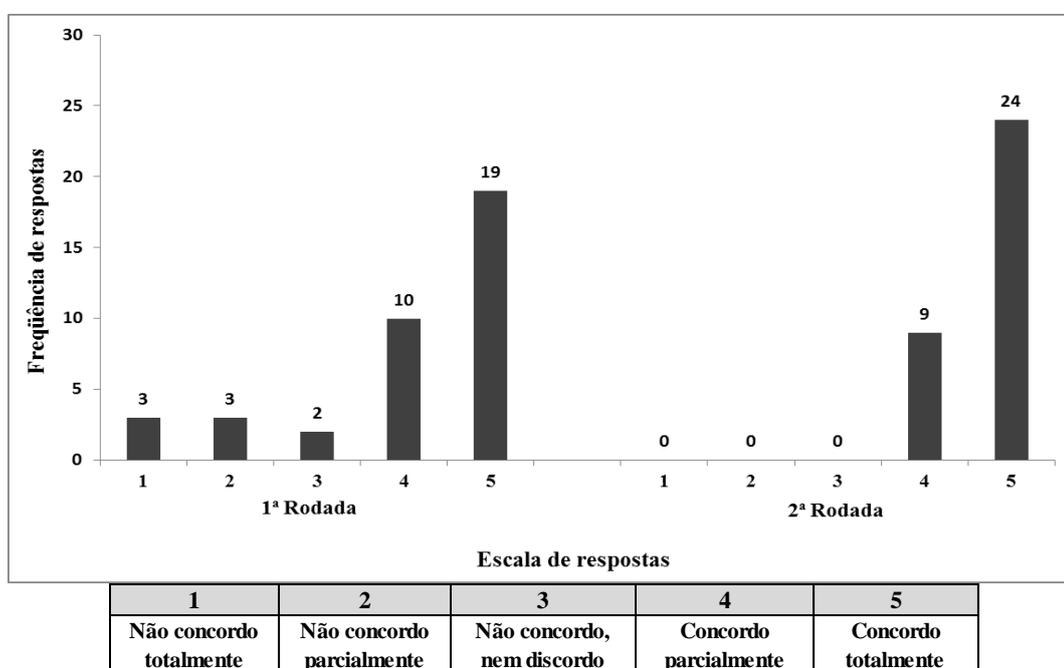
24) Falta de mão de obra capacitada na área.

O construto 24 investiga a possibilidade da falta de mão de obra especializada para lidar com a tecnologia de Impressão 3D, conforme relata os autores (DAWES et. al., 2015; SCHWUAB, 2016). Na primeira rodada, o Coeficiente de Variação ficou em 29%, mas, quando realizada a segunda rodada, o coeficiente caiu para 10%, atingindo o consenso. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas duas rodadas, de acordo com o Gráfico 29. Com a difusão da Impressão 3D pelas organizações e a criação de *startups* ligados às novas tecnologias, a falta de mão de obra especializada na área de Manufatura Aditiva é um fato que já está ocorrendo. A demanda por profissionais de tecnologia da informação já é uma necessidade crescente em muitos países e deve impactar na difusão da Impressão 3D para os próximos anos. Essa falta de especialistas impacta diretamente no crescimento de setores em desenvolvimento e demonstra ser uma preocupação de entidades que representam a classe. Conforme a Associação para a Promoção da Excelência do Software Brasileiro (Softex), a repercussão do impacto da escassez de mão de

obra em TI poderá ocasionar, inclusive, em uma perda de receita de R\$ 115 bilhões até 2020 no segmento, só no Brasil, principalmente nas capitais como São Paulo e Belo Horizonte.

Países como Canadá e Alemanha já sofrem com essa escassez e estão importando profissionais de TI do Brasil para atuarem em áreas consideradas básicas em seus países, gerando um gargalo ainda maior de profissionais no Brasil. O portal de CNI aponta que 30 % dos empresários relatam problemas de encontrar trabalhadores qualificados para operar essa tecnologia, apontando um *gap* que precisa ser explorado pelas instituições de ensino, juntamente com a falta de investimentos governamentais na infraestrutura digital.

Gráfico 29 - Histograma das respostas do construto 24



25) Benefícios na construção civil.

O uso da Impressão 3D no setor de construção civil tem despertado interesse pela possibilidade de diminuir custos de construção com a flexibilização e agilidade na produção sequenciada de casas e do seu tempo de construção, diminuindo, assim, a geração de entulhos conforme citado pelos autores (VOLPATO, 2007; TAKAGAK, 2012; SANTOS, 2014; TECTUDO, 2015; URBAN 3D, 2015; LOPES, et. al., 2016). Na primeira rodada o Coeficiente de Variação ficou em 27%, sendo enviado para uma segunda rodada. Os especialistas chegaram a um consenso sobre esse construto na segunda rodada com Coeficiente de Variação de 15%. O Gráfico 30 mostra que a maioria dos especialistas

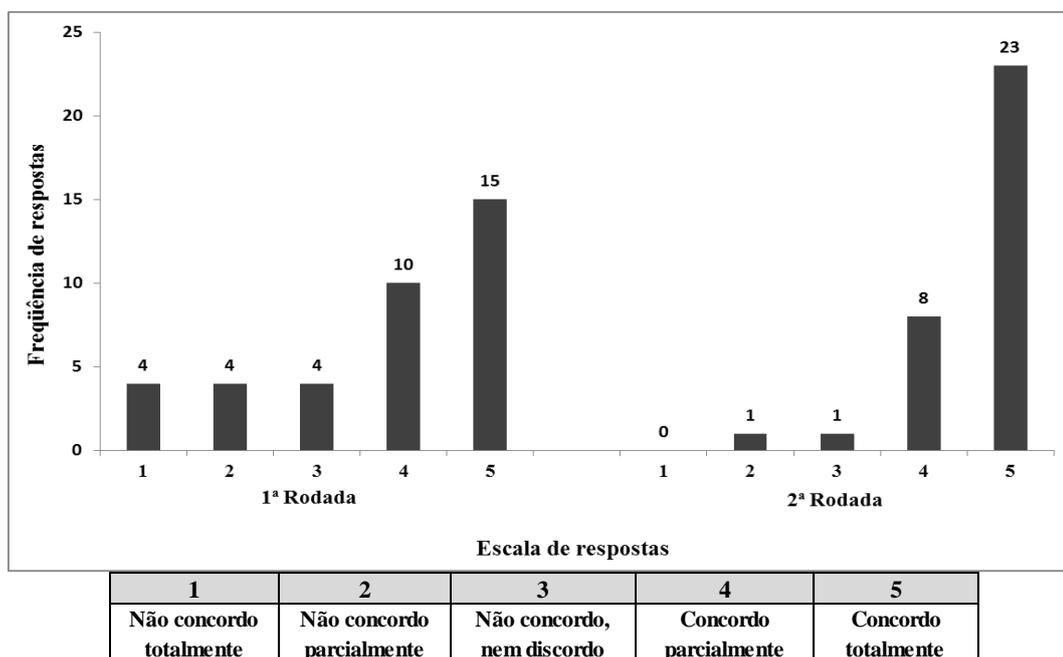
concorda totalmente (5) na segunda rodada. Talvez o principal impacto, seja na Logística Reversa e na redução de entulhos de construção, mas também há de se considerar que novas técnicas de construção devem surgir, reduzindo a distribuição de materiais de construção nos canteiros.

Com os benefícios da Manufatura Aditiva na construção civil acontecendo principalmente na Europa, Ásia e em pesquisas da NASA nos EUA, esse tipo de tecnologia deve demorar a chegar ao Brasil, uma vez que a cultura do mercado brasileiro ainda é a preferência pela disponibilidade de mão de obra barata. Nos Estados Unidos, alguns pesquisadores da Universidade da Califórnia, desenvolveram uma tecnologia chamada de *Contour Crafting*, é o nome dado a um sistema ainda em desenvolvimento na Universidade do Sul da Califórnia, idealizado pelo pesquisador Behrokh Khoshnevis, e que já é experimentado por empresas da construção civil. A novidade está na união da tecnologia de Impressão 3D com sistemas mecânicos que permitem a montagem de peças industrializadas, visando automatizar o canteiro e agilizar o andamento das obras. Com o uso de uma impressora 3D gigante que se movimenta sobre trilhos, com a qual é possível construir casas em até 24 horas, utilizando uma argamassa especial de secagem rápida e aderente.

Na Itália, impressoras 3D já produzem casas populares utilizando lama e fibras como material base. Mais recentemente, a empresa norte-americana Apis Color desenvolveu uma máquina de Impressão 3D que contém um braço robótico e é capaz de imprimir uma casa de 38m² por menos de 10 mil dólares e com durabilidade superior a meio século. Esta tecnologia está em constante evolução e estima-se que em poucos anos já exista a possibilidade de produção em larga escala de casas populares utilizando impressoras tridimensionais. Porém, o maior problema enfrentado na área tem sido a Logística de instalação, manutenção e mão de obra especializada.

É necessária, contudo, uma estrutura de apoio logístico considerável para manter o processo em constante funcionamento, o que inviabiliza a sua utilização efetiva. Mesmo que a estrutura vertical seja “impressa” utilizando uma impressora 3D, a colocação de janelas, portas elétricos, tubulações ainda é feita de forma manual. Espera-se que essas limitações sejam solucionadas com o avanço da tecnologia, tendo em vista o forte peso que o mercado de construção representa para as economias.

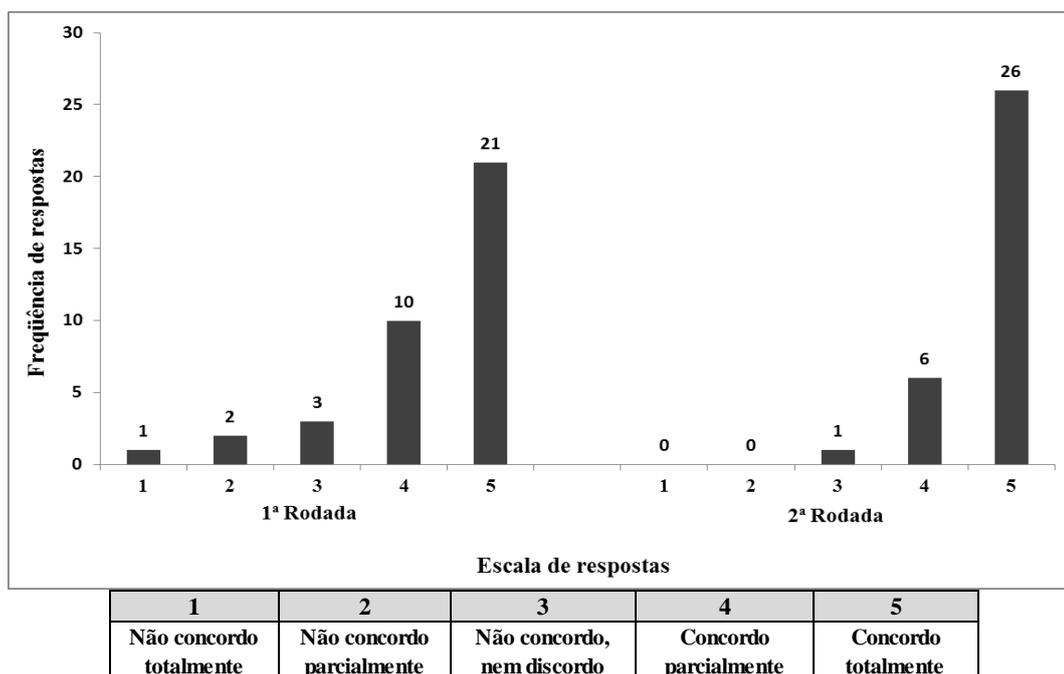
Gráfico 30 - Histograma das respostas do construto 25



26) Uso da Impressão 3D para produção de peças obsoletas, que não são mais fabricadas pelas indústrias.

O construto 26 questiona se é possível que surja um mercado que possa se beneficiar com essa tecnologia para produzir peças específicas, e que não são mais produzidas comercialmente. A Impressão 3D pode fabricar peças antigas para máquinas ou veículos antigos e que não são mais encontradas nas oficinas ou lojas de peças, de acordo com os autores (DAVIS, 1990; DA SILVEIRA, et al., 2001; VOLPATO, 2007; CROWTHER e COOK, 2007; GARCIA, 2010; SCHWAB, 2016). Esse construto chegou a um consenso com 11% de Coeficiente de Variação na segunda rodada contra 18% de coeficiente na primeira rodada. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas duas rodadas, conforme apresentado no Gráfico 31. É possível que a Impressão 3D seja uma alternativa viável e barata para repor peças que não são mais fabricadas pela indústria, por estarem obsoletas ou por não apresentarem uma demanda justificável para produção em massa. No entanto, assim como a empresa 3M do Brasil e as montadoras de veículos como a Toyota e FIAT já realizam serviços com impressoras 3D para atender pequenas demandas particulares ou de produção, é bem possível que essa prática se torne comum para outras empresas e que surjam pequenos negócios especializados na manufatura de peças únicas.

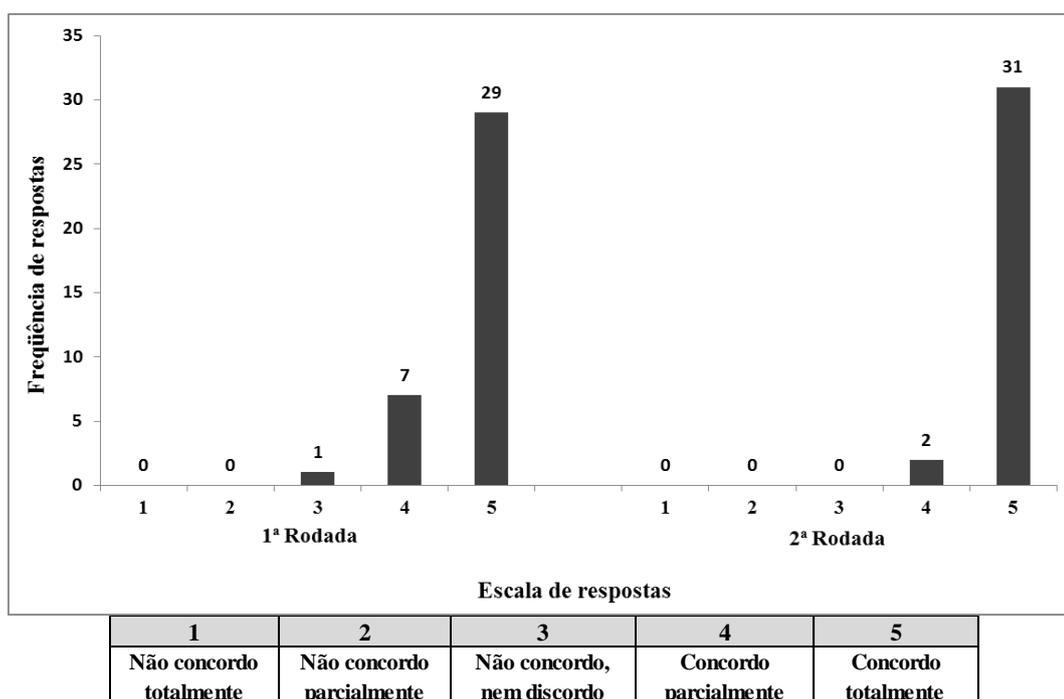
Gráfico 31 - Histograma das respostas do construto 26



27) Benefícios na medicina e na odontologia.

Outras áreas também estão se beneficiando da Impressão 3D. A Cadeia de Suprimentos da área médica possui um forte interesse nessa tecnologia pelas possibilidades que ela pode oferecer para os tratamentos médicos, de acordo com os autores (CZERNUSZKA, 2003, CZAJKIEWICZ, 2006; VOLPATO, 2007; SACHLOS, et al., 2009; CHUA, et al., 2010; RAULINO, 2011; CAMPBELL, et al., 2012; WEBSTER, 2013; TECTUDO, 2015; CUNICO, 2017). O construto atingiu o consenso já na primeira rodada com 9% de Coeficiente de Variação, sendo enviado para uma segunda rodada conforme prevê o método Delphi, o Coeficiente de Variação caiu para 5% consolidando o consenso entre os especialistas. A maioria dos especialistas concorda totalmente (5) nas duas rodadas, de acordo com o Gráfico 32.

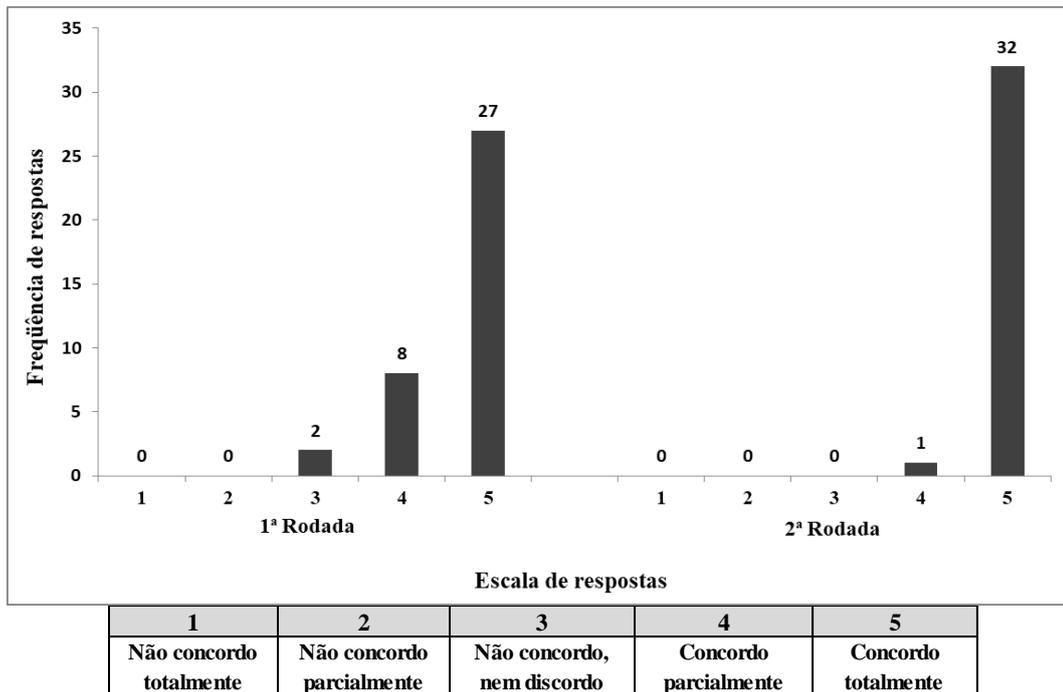
Gráfico 32 - Histograma das respostas do construto 27



28) Desenvolvimento de novas matérias primas e novos produtos.

Os centros de pesquisas focados em Manufatura Aditiva estão empenhados em descobrir novas matérias primas que possam ser usadas nas impressoras 3D para impressão de produtos cada vez mais leves e resistentes. Essa é uma demanda principalmente das indústrias, conforme cita os autores (VOLPATO, 2007; BROWN, T. D.; et. al., 2011; GUO E LEU, 2013; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016). Os especialistas analisaram o construto 28 e chegam ao consenso da sua realidade com 4% de Coeficiente de Variação na segunda rodada, sendo que na primeira rodada o construto já tinha apresentado um consenso com um Coeficiente de Variação de 12%. No Gráfico 33 pode-se analisar que a maioria dos especialistas concorda totalmente (5) nas duas rodadas. Pesquisas mostram que a impressora 3D possui um potencial de deixar a manufatura mais competitiva, como na Alemanha, EUA, Canadá, países da Ásia, entre outros, isso já vem acontecendo. Vários testes com novas matérias primas específicas para Manufatura Aditiva têm sido executados nos principais centros de pesquisas desses países. Nos laboratórios do Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) já existem testes com Impressão 4D, isso significa que depois de ser produzido pela impressora 3D, o material pode ter sua forma alterada sozinha ou influenciada por algum dispositivo.

Gráfico 33 - Histograma das respostas do construto 28

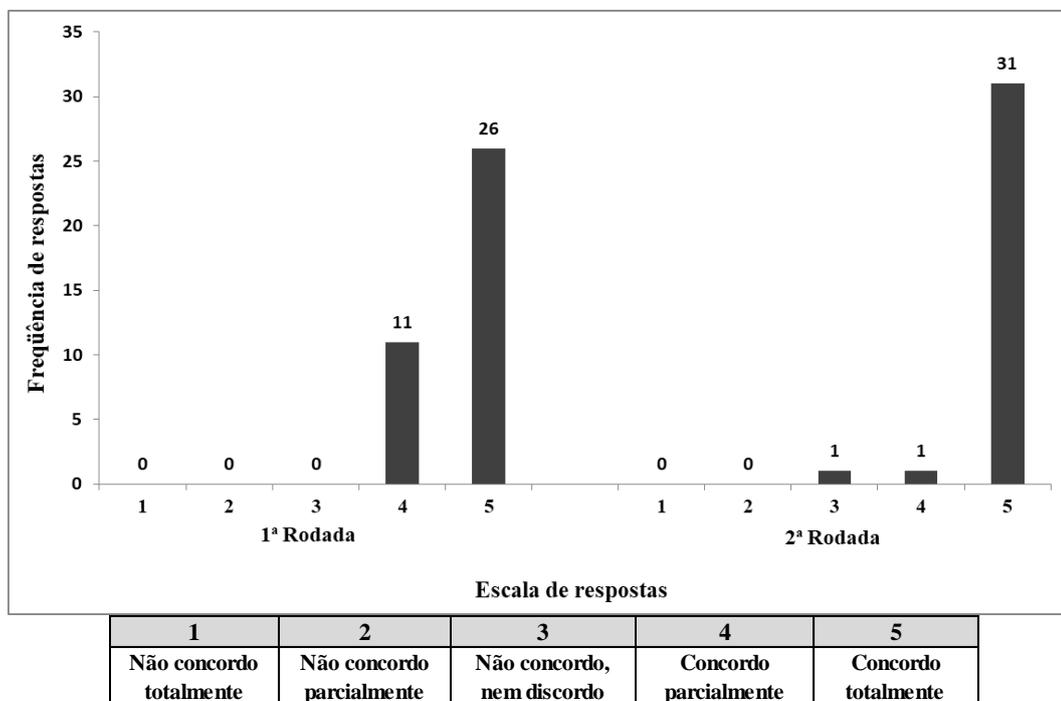


29) Desenvolvimento de peças mais leves e eficientes.

A tecnologia de Manufatura Aditiva possibilita a produção de peças com design complexos e mais leves. Facilidade de compartilhamento de projetos e a capacidade de produzir peças funcionais (LUO, 1999; MORROW, 2006; REEVES & MENDIS, 2015; BOURELL; et al., 2009; BERMAN et al., 2012; HUANG; et al., 2013). Esse construto chegou ao consenso com Coeficiente de Variação de 9% na primeira rodada, porém, como o método Delphi prevê no mínimo duas rodadas, ao ser enviado para segunda rodada seu CV ficou em 8%. O Gráfico 34 mostra que a maioria dos especialistas concorda totalmente (5) nas duas rodadas. A empresa Airbus está pronta para produzir peças para seus aviões em série utilizando Impressão 3D. As peças feitas de titânio são 30% mais leves que as produzidas pela manufatura convencional, ajudando a economizar combustível das aeronaves. Os testes realizados com as peças produzidas em Impressão 3D surpreendem, pois são mais resistentes que a antecessora. No caso da usinagem, uma peça é produzida em um volume propositalmente maior, para que seja “talhada” no formato ideal. Quando se usam moldes, parte da matéria-prima acaba ficando nos canais de alimentação. A General Eletric (GE) deve produzir cerca de 100 mil peças em suas impressoras 3D até 2020 para seus motores a jato. A empresa Sueca Arcam AB, fabricante de impressoras 3D, já prevê que não conseguirá atender a demanda do mercado em breve, uma vez, que o crescimento na compra de impressoras 3D

industriais por empresas do ramo aeroespacial ou automobilística nos últimos três anos cresceu vertiginosamente.

Gráfico 34 - Histograma das respostas do construto 29



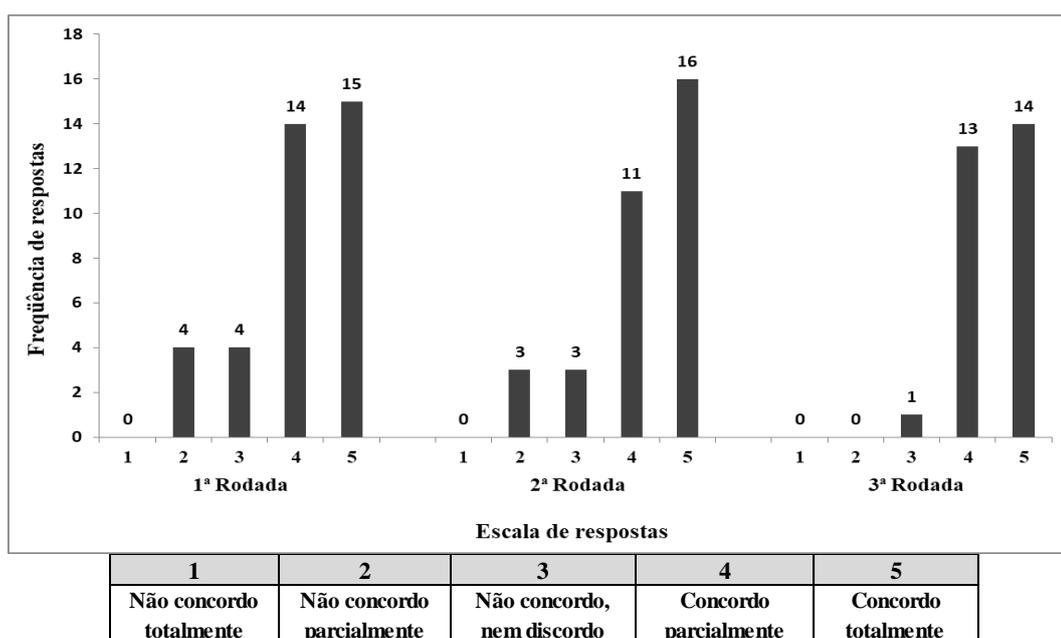
30) Melhoria na rastreabilidade de produtos.

A tecnologia de rastreamento aliada à Manufatura Aditiva consegue realizar uma rastreabilidade de informações que antes não era possível, permitindo uma gestão de conhecimentos e indicadores para melhorar tanto os processos, quanto os produtos, ajudando a diminuir o desperdício e as falhas, de acordo com os autores (VENDRAMETO, 2000; MIETTI, et al., 2002; GOMES, 2011; TORNABELL, 2015; KOLBERG E ZUHLKE, 2015; COSTA; et al., 2016). Na primeira rodada o construto apresentou um Coeficiente de Variação de 20% não entrando em consenso sendo, então, enviado para uma segunda rodada. Na segunda rodada o construto ficou com um Coeficiente de Variação de 21%, sendo necessário novamente enviar para uma terceira rodada. Na terceira rodada o construto chegou a um consenso com seu Coeficiente de Variação de 12%. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas três rodadas, conforme demonstra o Gráfico 35. Segue alguns comentários dos especialistas feitos durante as rodadas do construto: *Sim e não. Ainda não foram desenvolvidas técnicas digitais de rastreio por características geométricas. Sendo a cópia facilitada pela tecnologia e devido à ausência por hora, o rastreio pode se tornar*

complicado. No meu ponto de vista independe da Manufatura Aditiva, mas creio que ajudaria, sem dúvida alguma. Digitais poderão ser introduzidas sem mesmo a compreensão dos consumidores. Rastreadores e tags matemáticos. Apenas se a tecnologia se viabilizar em maior escala.

Cientistas da Universidade de Washington realizam estudos com objetos impressos em 3D que podem se comunicar com outros dispositivos inteligentes via WiFi. A rastreabilidade de produtos deve dar um salto tecnológico em médio prazo, já que a Manufatura Aditiva pode imprimir nano chips criando um tipo de DNA do produto, permitindo uma gestão de conhecimentos e indicadores, como de estoques, por exemplo, servindo para melhorar tanto os processos logísticos, quanto os produtos, reduzindo os desperdícios e falhas nos centros de distribuição e/ou depósitos empresariais.

Gráfico 35 - Histograma das respostas do construto 30



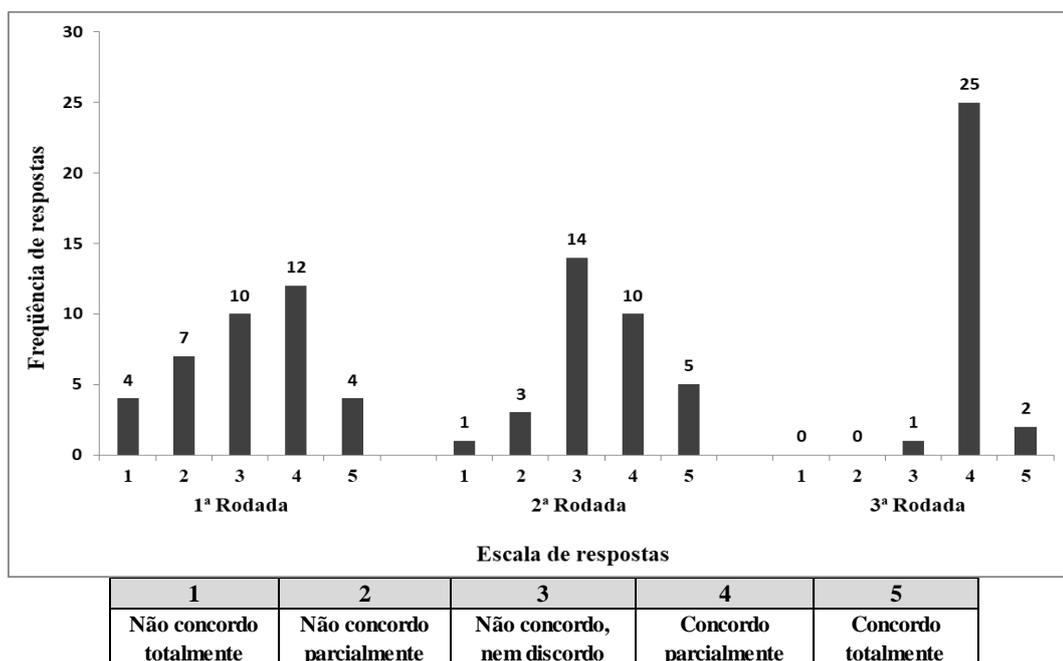
31) Aumento no número de processos judiciais.

O objetivo do construto 31, 32 e 33 é abordar uma reflexão sobre os aspectos legais que podem influenciar as relações da Manufatura Aditiva com a Cadeia de Suprimentos, no surgimento de novos negócios ou na fabricação de peças com *design* patenteado dentro das indústrias utilizando a Manufatura Aditiva. Com o avanço da Tecnologia de Manufatura Aditiva, como deve se comportar a relação de registros de patentes e a necessidade de uma organização em utilizar essa manufatura para produzir peças de reposição, por exemplo,

conforme cita os autores (HANNA, 2011; BARBOSA, 2011; WEINBERG, 2013; OSBORN, 2014; LEMLEY, 2015; WIDMER, 2016; RAJAN, 2016)? O Gráfico 36 apresenta na primeira rodada o Coeficiente de Variação em 33%. Já na segunda rodada os especialistas apontaram comentários pertinentes sobre esse construto, mas não chegaram a um consenso, ficando seu Coeficiente de Variação em 28% e, portanto, o construto foi enviado para uma terceira rodada. Na terceira rodada chegou-se a um consenso sobre o tema, uma vez que o construto apresentou um CV de 11%. Alguns especialistas comentaram sobre o tema: *Quanto à legislação patentária, sem dúvida alguma, os processos aumentarão sim. Mas serão de difícil controle. O modelo atual é mais que obsoleto no mundo todo. Sim, pela quebra patentária. Por outro lado, será mais difícil justificar a inovação, pois com o advento da internet estamos chegando a condições limite muito rapidamente com a troca de informação em diversas áreas. O futuro reside na inovação verdadeiramente aberta. Da forma que os negócios são feitos hoje passam pelos escritórios de advocacia e grandes corporações, portanto, com a troca rápida de informação, este paradigma pode ser quebrado. Toda inovação gera aumento de processos judiciais, riscos, desafios etc. Mas pouco terá a ver com a tecnologia em si, e sim com o processo de inovação. Acredito que por conta da falta de maturidade neste tema, como não temos nem regulamentações e nossa legislação não prevê esta tecnologia ainda, teremos mais processos acontecendo no futuro por conta deste tema.*

Deve ocorrer nos próximos anos um aumento no número de processos judiciais, mas não por causa específica da Manufatura Aditiva, e, sim, pelo avanço da tecnologia como um todo. Mesmo assim, cabe ressaltar que a lei de patentes no Brasil é muito lenta e pouco cumprida e termos judiciais, o que justifica a maioria das respostas na terceira rodada ter ficado em concordo parcialmente (4). Já nos países desenvolvidos, os aspectos legais que envolvem a Impressão 3D já estão em debate para mudanças nas leis. Se o objeto inteiro a ser escaneado estiver patentado, simplesmente digitalizar o objeto e fazer um arquivo CAD sem permissão não violaria a patente. No entanto, compartilhar esse arquivo ou usá-lo para imprimir em 3D o objeto patentado, violaria.

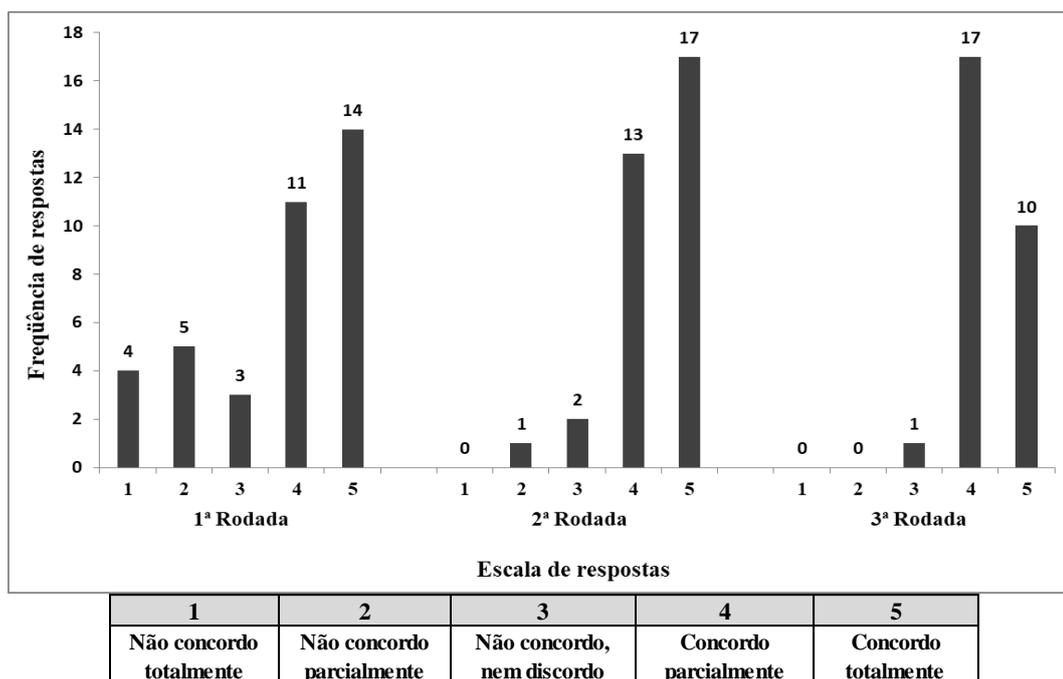
Gráfico 36 - Histograma das respostas do construto 31



32) Aumento do número de registros de patentes.

O construto 32 representado no Gráfico 37 investiga se deve ocorrer um aumento no registro de patentes com a popularização das impressoras 3D. Acredita-se no aumento de registro de patentes que envolvam de alguma forma impressoras 3D ou materiais usados por elas, de acordo com os autores (HANNA, 2011; BARBOSA, 2011; WEINBERG, 2013; OSBORN, 2014; LEMLEY, 2015; WIDMER, 2016; RAJAN, 2016). Como o construto não atingiu o consenso na primeira rodada com 31% de Coeficiente de Variação e nem da segunda rodada com 17%, realizou-se uma terceira rodada da pesquisa, em que seu Coeficiente de Variação ficou em 13%, chegando ao consenso. A maioria dos especialistas concorda parcialmente (4) ou totalmente (5) nas três rodadas. Tendo como finalidade fornecer a proteção aos ativos intangíveis das empresas surge os direitos de propriedade intelectual, os quais estão divididos em dois grandes ramos: direitos autorais e direitos industriais. Antes das impressoras 3D, não era possível imprimir trabalhos como esculturas, brinquedos e outros artefatos possuidores de proteção dos direitos de propriedade intelectual. A popularização das impressoras 3D faz com que se torne complexa a reparação de prejuízos sofridos pelos detentores dos direitos de propriedade intelectual.

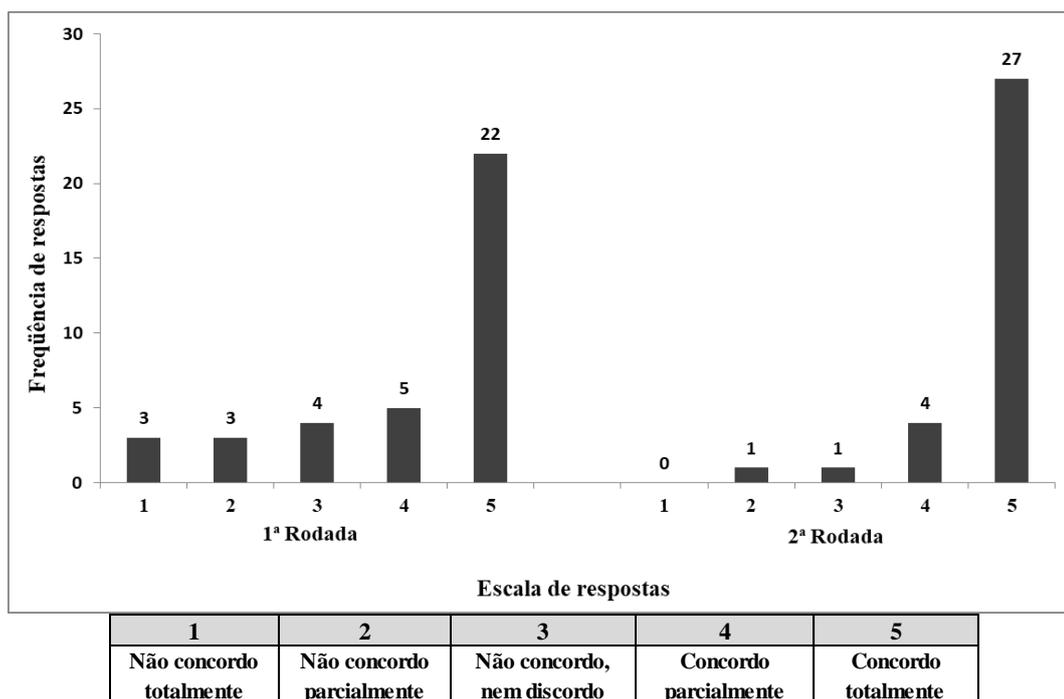
Gráfico 37 - Histograma das respostas do construto 32



33) Novas discussões sobre os direitos autorais.

O movimento de criadores, ou *Makers*, deve ganhar ainda mais atenção a partir de 2018. A previsão é feita com base no fim de algumas das patentes mais importantes no campo da Impressão 3D nos Estados Unidos e na Europa. Em jogo, está um mercado que unido deve passar dos 10 bilhões de dólares em cinco anos, de acordo com os autores (HANNA, 2011; BARBOSA, 2011; WEINBERG, 2013; OSBORN, 2014; LEMLEY, 2015; WIDMER, 2016; RAJAN, 2016). No Gráfico 38, os especialistas em sua maioria concordam totalmente (5) com esse construto nas duas rodadas, sendo que na segunda rodada o Coeficiente de Variação ficou em 14 %, contra 25% de coeficiente na primeira rodada. A dissertação publicada em 2016 pela acadêmica Bruna Castanheira de Freitas com tema: Como a Impressão 3D afeta a propriedade intelectual; aborda as dificuldades que as empresas enfrentam, principalmente no Brasil, com relação à Impressão 3D e seus aspectos legais. Na opinião da pesquisadora e a partir dos autores estudados, provavelmente os titulares de direitos que se virem ameaçados pela tecnologia focarão em perseguir judicialmente empresas focadas em serviços relacionados à impressora 3D, em vez de perseguirem os consumidores finais em si.

Gráfico 38 - Histograma das respostas do construto 33



Seguem outros comentários dos especialistas entrevistados relacionados à pesquisa: *O trabalho possui um enriquecimento cultural sobre a Gestão da Cadeia de Suprimentos de forma inovadora. Alguns construtos eu consegui entender melhor na segunda rodada, por isso mudei a opinião. Na primeira rodada não dei muita atenção para algumas questões. A questão agora ficou mais clara na segunda rodada, por isso mudei de opinião. É um estudo pertinente, a Cadeia de Suprimentos e o impacto na Logística de operações e serviços, como especialistas percebesse a necessidade de explorar este novo nicho de Mercado, com o uso da Engenharia de Produção e da Inovação. Meus parabéns aos pesquisadores! Pesquisa de alta relevância acadêmica no que diz respeito à observação da interdisciplinaridade entre as áreas de Manufatura Aditiva e GCS, principalmente no âmbito das mudanças de processos decorrentes do advento da popularização das tecnologias de MA. Parabéns pela iniciativa. Hoje ainda é muito difícil desenvolvermos este tipo de pesquisa no Brasil devido ao distanciamento ainda existente entre mercado e academia. Estas iniciativas são importantes para reforçarmos a sua relevância. Excelente pesquisa. Não preciso das obras (mesmo que importantes). Posso comprar as mesmas. Contudo, preciso sim da dissertação impressa enviada aos meus cuidados. Esta não estará à venda, me envie depois de pronta.*

CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo busca-se realizar a análise do que foi observado durante a pesquisa Delphi, tecendo as considerações sobre as influências da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos. Primeiramente serão discutidas as considerações a respeito do Delphi junto à Cadeia de Suprimentos; em seguida serão discutidos potenciais cenários futuros da arquitetura da Cadeia de Suprimentos vinculada com a Manufatura Aditiva e quais os elos da cadeia essa tecnologia mais estará relacionada. Por fim, quais as barreiras legais que podem dificultar o avanço da Manufatura Aditiva junto às empresas.

7.1 ANÁLISE DA PESQUISA DELPHI JUNTO À CADEIA DE SUPRIMENTOS

A facilidade de aquisição das impressoras 3D pelo consumidor pode gerar uma facilidade de fabricação de alguns produtos em domicílio pelo próprio consumidor, necessitando apenas do programa e da matéria prima para produzir um bem. A fabricação de produtos por impressoras 3D em domicílio pelo consumidor pode ser uma opção, uma vez que esse produto pode ter um custo menor do que um produto fabricado em massa pelo método convencional.

Porém, alguns especialistas comentam que ainda é difícil mensurar essa redução de custos no produto feito por Impressão 3D, uma vez que produtos personalizados e impressos por essas impressoras possuem outros custos agregados, como o tempo que o técnico levará para desenhar o produto utilizando sistema CAD, custos da matéria prima, complexidade do objeto, energia, etc.

Na opinião de outros especialistas é pouco provável que em curto e médio prazo o comércio de alguns produtos e a Cadeia de Suprimentos sejam afetados pela popularização das impressoras 3D, mesmo existindo uma tendência de que mais produtos deverão ser

fabricados em domicílio. Os consumidores, em geral, ainda deverão demandar por um tempo considerável por produtos fabricados em grande escala, mesmo com a possibilidade de produzirem em domicílio utilizando uma impressora 3D.

É possível que o uso da Manufatura Aditiva reduza o desperdício de matéria prima dentro de algumas indústrias, uma vez que a fabricação de peças de metal, por exemplo, pode deixar de ser produzida pelo processo convencional de usinagem e passar a utilizar a Manufatura Aditiva dando flexibilidade nas linhas de produção quanto ao volume fabricado, corroborando com a literatura dos autores como Slack e Lewis (2001); Bourell (2010); Manyika et. al., (2013) e Garcia (2012).

Com a redução do custo de aquisição das impressoras 3D que fabricam peças utilizando como matéria prima o metal, mais empresas poderão elaborar estratégias de produção utilizando a Manufatura Aditiva em seus processos, aponta os autores Igoe e Mota (2011), implicando diretamente a redução de estoques de produtos acabados, uma vez que a empresa pode fabricar qualquer produto no momento que necessitar utilizando a Manufatura Aditiva, aumentando a eficiência do conceito de *just in time*.

Outro ponto importante é a produção de peças conceito ou moldes utilizando a tecnologia de Manufatura Aditiva. A facilidade e a agilidade de fabricação de uma peça conceito ajudam na identificação de falhas ou na mudança do design da peça antes da sua produção em massa pela indústria. Esse processo agiliza a entrega da demanda ao cliente e aumenta as possibilidades de fabricar peças que antes não podiam ser produzidas devido ao alto custo ou à complexidade da peça.

No entanto, estudos ainda precisam ser feitos para analisar a resistência de cada peça produzida pelas impressoras 3D. Mesmo que seu design seja melhorado para compensar sua resistência e leveza, é preciso analisar os reais impactos que a peça pode sofrer em seu uso, uma vez que o processo de sua fabricação é feito por meio de solda e não por um dos processos de usinagem convencional.

Com relação ao uso da Manufatura Aditiva para compor estoques de componentes ou MRO (Manutenção, Reparo e Operações), por exemplo, o volume e o mix de peças armazenadas poderão ser reduzidos, já que impressoras 3D podem produzi-los no momento em que esses componentes e peças são demandados, implicando a redução dos custos de armazenagem. Porém os estoques em menor volume continuarão a existir, uma vez que a matéria prima para as impressoras precisará ser armazenada.

Já para os distribuidores e atacadistas, conforme mostra a Figura 9, o valor agregado da Manufatura Aditiva seria menor, pois esses agentes possuem um grande volume de produtos, feitos com diversos tipos de matéria prima diferentes, o que inviabiliza no momento a fabricação de produtos por Impressão 3D, dado que esses agentes teriam que possuir um estoque diversificado de matéria prima para Impressão 3D e diversos modelos de impressoras.

A análise das respostas junto à pesquisa bibliográfica mostra um crescimento acelerado do surgimento de novos negócios envolvendo a Manufatura Aditiva. Ao que tudo indica, parece não haver restrição para o uso da Manufatura Aditiva como tecnologia de diferencial estratégico. Um exemplo disso pode ser visto na Cadeia de Suprimentos da saúde, em que a Impressão 3D oferece benefícios como: próteses leves, produzidas de forma rápida, com custo mais acessível e ajustadas ao paciente; Impressão de imagem de ressonância pré-operatória, que ajuda a equipe médica a realizar uma cirurgia com segurança, aumentando as chances de recuperação do paciente, tornando a Cadeia de Suprimentos desses produtos mais ágil.

Na odontologia, ao combinar varredura oral, design CAD/CAM e Impressão 3D, os laboratórios dentários podem produzir, de forma mais precisa, coroas, pontes, modelos rígidos e uma ampla gama de dispositivos ortodônticos. Em janeiro de 2018, um grupo de cientistas europeus anunciou a criação de uma bio-impressora capaz de produzir um tecido compatível com a pele humana, apta para transplantes. O uso da impressora 3D no setor industrial farmacêutica também desperta possibilidades: basicamente, essa tecnologia também pode ser usada para criar medicamentos únicos, formas ilimitadas de dosagens e, inclusive, permitir o desenvolvimento de dosagens complexas e customizadas.

No varejo, empresas estão analisando e adotando estratégias de uso da Manufatura Aditiva para substituir seus estoques de produtos acabados por estoques de matéria prima para impressoras 3D, cujos produtos seriam produzidos no momento da venda, desde que ela não tenha um mix de produtos feitos de materiais muito diversos. O ideal, portanto, é que o varejo tenha vários produtos que possam ser fabricados utilizando um mínimo de matéria prima diferente para impressoras 3D.

7.2 CENÁRIOS FUTUROS PARA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A tecnologia de Impressão 3D deve influenciar também a Gestão da Cadeia de Suprimentos de forma a criar novas estratégias que envolvam principalmente a distribuição de produtos fabricados.

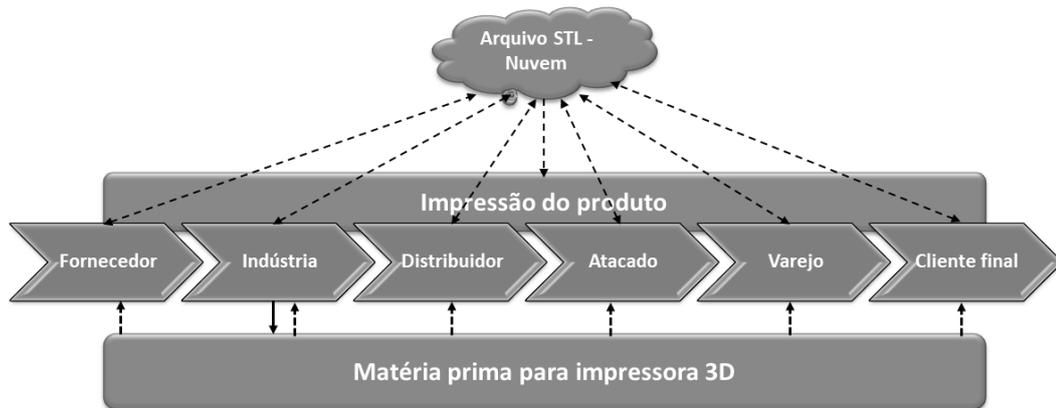
Novos conceitos devem surgir para Gestão da Cadeia de Suprimentos que envolva a Manufatura Aditiva como parte essencial para satisfazer as necessidades dos clientes e, se possível, com redução nos custos de distribuição. Essa nova forma de distribuir a responsabilidade de fabricação, que antes era exclusivo da indústria, deve impactar no volume de mercadorias transportadas, porém esse fato ainda é difícil de mensurar, uma vez que a Tecnologia de Manufatura Aditiva ainda precisa de maturidade na aceitação das organizações para ser vista como diferencial estratégico.

Uma das consequências que podem modificar a Cadeia de Suprimentos é a forma como será fornecido o produto ao cliente final, e um desses processos é o fornecimento de um arquivo STL (formato do arquivo para impressoras 3D) do produto via sistema de nuvem para Impressão em 3D. Conforme visto na Figura 7, esse arquivo pode ser enviado por qualquer pessoa para um banco de armazenamento e acessado por qualquer agente da cadeia, podendo ser vendido ou disponibilizado gratuitamente, fato que já vem acontecendo nos dias atuais.

Sendo assim, qualquer empresa ou pessoa física com uma impressora 3D pode adquirir o arquivo e imprimir uma peça, seja por motivo comercial ou *hobby*. A indústria atenderia a uma demanda por matéria prima e arquivos STL para as impressoras 3D possibilitando, nesse caso, a geração de um novo negócio, sem deixar de produzir em escala e atendendo as demandas do mercado por produtos produzidos em massa.

Nesse modelo de Cadeia de Suprimentos, a indústria ainda continuará com sua hegemonia de fabricante, não somente de produtos em larga escala, mas também de matéria prima para impressoras 3D. A questão é que outros agentes podem se tornar fabricantes utilizando a tecnologia de manufatura aditiva, sem necessariamente depender da indústria.

Figura 7 – Arquivo STL disponível para toda Cadeia de Suprimentos

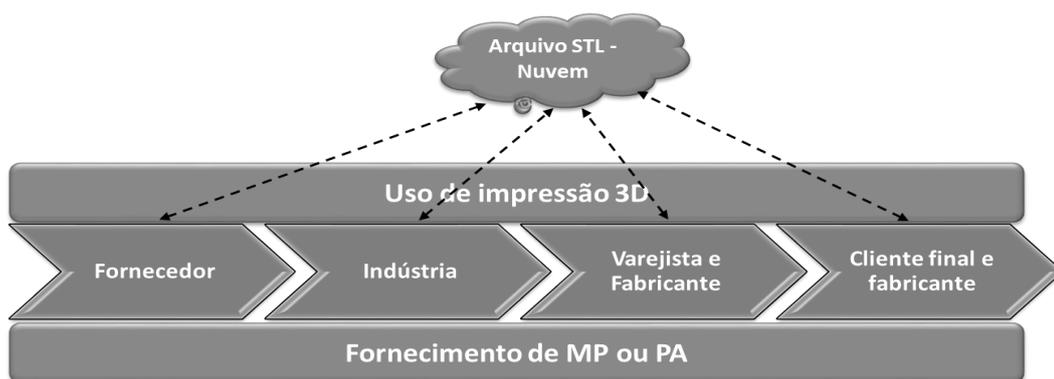


Fonte: autor, 2018

Qualquer agente da Cadeia de Suprimentos que possua uma impressora 3D pode adquirir tanto o arquivo STL quanto a matéria-prima e se tornar um fabricante de produtos, bem como continuar sendo um fornecedor do produto fabricado pela indústria.

Quanto à abordagem de uma nova arquitetura para a Cadeia de Suprimentos, pode-se sugerir que alguns produtos não tenham mais que seguir por dentro de todos os agentes de uma cadeia convencional. Sendo assim, algumas etapas podem ser puladas encurtando o tempo de entrega de produtos para o cliente final e se tornando uma Cadeia Aditiva de Suprimentos, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Nova arquitetura: Cadeia Aditiva de Suprimentos



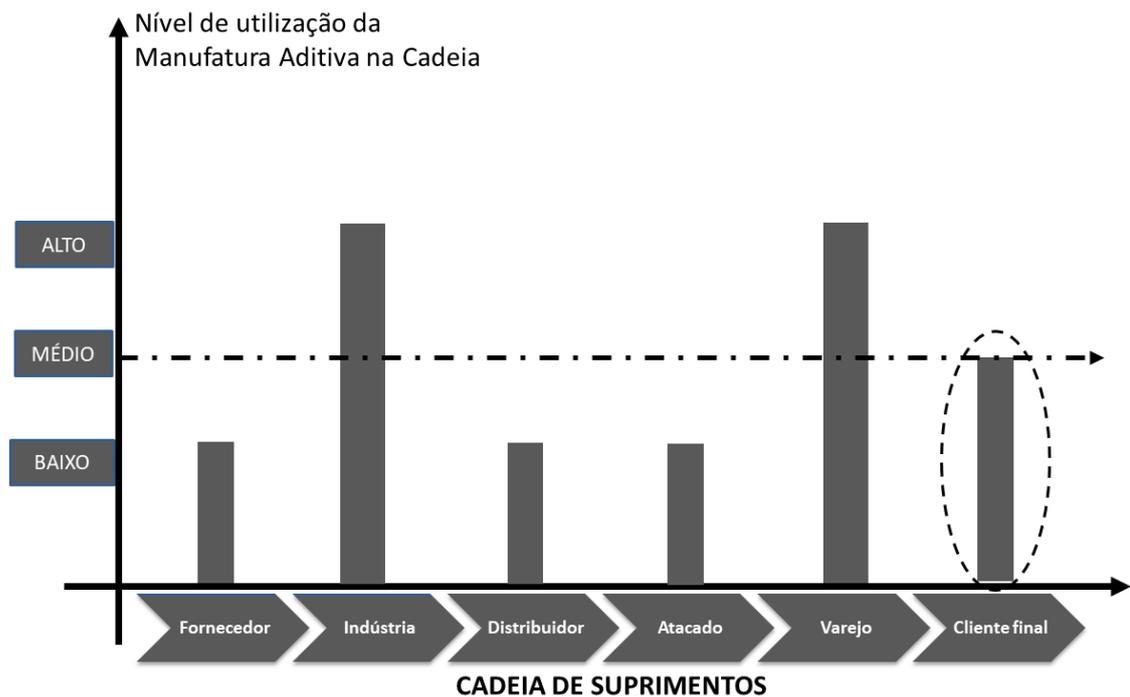
Fonte: autor, 2018

Nesse novo modelo, os agentes envolvidos podem fazer uso da Manufatura Aditiva a seu favor de maneiras específicas. O fornecedor pode repor seu estoque de peças ou componentes de MRO. A indústria, além de continuar fornecendo seus produtos acabados

produzidos em escala, também pode se tornar um fornecedor de matéria prima para impressoras 3D e/ou se tornar uma fornecedora de arquivos STL para toda cadeia. O varejista pode se tornar um fabricante de produtos e fornecedor de matéria-prima para qualquer usuário de uma impressora 3D. Já o cliente final produziria seus produtos em domicílio e também pode se tornar um fornecedor de projetos e arquivos STL para cadeia. Todas as empresas que utilizam Manufatura Aditiva podem produzir para recompor seus estoques de MRO, componentes ou produtos de forma comercial ou não.

A Figura 9 sugere os níveis de utilização da Manufatura Aditiva, pelos quais os agentes da Cadeia de Suprimentos devem fazer maior ou menor uso da Impressão 3D em seus processos. Sugere-se, portanto, de forma gráfica, quais os agentes da Cadeia de Suprimentos receberão maiores influências dessa tecnologia.

Figura 9 - Nível de utilização da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos



Fonte: autor, 2018

O modelo mostra que a indústria e o varejo devem ser os mais beneficiados pelo uso da Manufatura Aditiva. As impressoras 3D que passem a utilizar diversos tipos de metais como matéria prima para fabricação de produtos devem se tornar imprescindível para produção de peças, componentes e MRO, além de serem fornecedoras de arquivos STL para terceiros, conforme visto nas Figuras 7 e 8. No varejo, a Impressão 3D deve atender a

demandas menores de consumidores que procuram por produtos personalizados ou que possuem demandas por produtos/peças específicos. Portanto, os setores da indústria e do varejo devem ser os mais afetados pela Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos em médio e longo prazo. Esses agentes devem pensar em estratégias para seus negócios sem desconsiderar a Manufatura Aditiva como diferencial estratégico e competitivo.

O cliente final da Cadeia de Suprimentos deve receber benefícios de forma particular. Com as impressoras 3D chegando a um preço mais acessível e com melhorias tecnológicas, será possível fabricar utensílios domésticos no escritório ou em domicílio. Pesquisas mostram que o potencial das vendas de impressoras 3D para pessoas físicas no mercado vem crescendo a cada ano, por isso esse agente da Cadeia de Suprimentos deve se destacar mais que o fornecedor, distribuidor e o atacado, na utilização das impressoras.

A inovação é um diferencial estratégico considerado pelas empresas que já estão trabalhando com a Manufatura Aditiva. Pesquisas mostram que quando incorporada nos mais diferentes tipos de negócios, grandes empresas como Alpargatas, MAN latina American, ThyssenKrupp, 3M, Fiat, Hyundai, e a Embraer são algumas das organizações que já contabilizam os ganhos da aplicação da Manufatura Aditiva, com redução de prazos e ganhos de eficiência. Como a Cadeia de Suprimentos é composta por vários agentes, pensar em como inovar é um poder competitivo de sobrevivência para alguns negócios.

Levantamento da consultoria americana Wohler Associates indica que os negócios com impressoras 3D movimentaram US\$ 5,1 bilhões no mundo, isso em 2016, uma evolução de 30% na comparação com 2015. Os estudos apontam que até 2020, a cifra chegue a R\$ 21 bilhões. Outra consultoria, a Gartner, estima que, em 2016 existiam no mundo 455,7 mil unidades de Impressão 3D, número que deve saltar a 6,7 milhões em 2020. O mercado nacional ainda tem pouca representatividade do total de negócios envolvendo Manufatura Aditiva, estima-se que apenas 3%, das empresas utilizam essa tecnologia em seus processos, segundo a Confederação Nacional das Indústrias – CNI.

Conforme a Revista Epocanegocios.globo.com, a Empresa ThyssenKrupp, que fabrica elevadores, usa a Impressão 3D não só para elaborar protótipos de componentes de equipamentos como para fabricar peças aplicadas no produto final. A ideia ganhou força depois que a equipe de Eurico Moser, diretor da área de Negócios Elevator Technology, atestou que o produto era de qualidade e poderia ser usado na substituição de itens do maquinário de elevadores em manutenção. A empresa possui vários fornecedores que não

produzem mais determinadas peças, devido à baixa demanda por fabricação de lotes. Essas peças agora são elaboradas pela equipe de engenharia da empresa usando CAD e impressas em impressoras 3D.

Já a fabricante de ônibus e caminhões MAN tem feito uso da Manufatura Aditiva para elaborar protótipos de peças para sua fábrica de Resende no Rio de Janeiro. A empresa aponta uma redução de 80% no custo de elaboração e fabricação de componentes. A empresa adquiriu sua primeira impressora em 2013. Até então, o tempo para um protótipo ficar pronto era de dois meses em média e o investimento era alto, sem levar em conta os ajustes que eram feitos na maioria dos protótipos. Agora não passa de algumas horas.

A marca de calçados Alpargatas descobriu os benefícios da Manufatura Aditiva em 2007. A empresa utiliza Impressão 3D para desenvolver projetos de solado para maioria de seus tênis de valor agregado, reduzindo o tempo de projeto e conseqüentemente de produção, dando mais qualidade ao produto final devido à precisão do protótipo. A montadora FIAT faz uso de Manufatura Aditiva para impressão de protótipos de nylon resistente e conta com duas impressoras 3D que são capazes de imprimir em 12 horas um modelo que, antes, levaria até uma semana para ficar pronto.

Ainda segundo a empresa de consultoria Wohler Associates, a Cadeia de Suprimentos da área de saúde representa 15% do mercado de Impressão 3D, sendo, de longe, um dos mercados mais promissores e os avanços já envolvem biomodelos usados no planejamento cirúrgico, impressão de próteses customizadas, sobretudo ortopédicos. Pacientes estão recebendo implantes feitos em impressoras 3D que substituem ossos danificados pelo câncer ou acidentes.

A força de inovação das empresas e a área de Engenharia de Materiais são importantes para o avanço da tecnologia de Manufatura Aditiva. A base para construção de qualquer peça física por uma impressora 3D é sua matéria prima. Nesse sentido cabe ressaltar que as pesquisas envolvendo a criação de novos materiais, que possam ser usados pela Manufatura Aditiva para impressão de produtos, é parte fundamental para o avanço cada vez maior do uso da Impressão 3D.

Sendo assim, o próximo passo para o avanço tecnológico das impressoras 3D é o desenvolvimento de componentes e peças como outros materiais compósitos. O uso de metais ou fibra de carbono é um exemplo disso, o reforço de fibra rígida utilizado na primeira fase já é material compósito. Trata-se de um termoplástico reforçado com fibra de carbono. Novos

testes já estão sendo feitos também com novos materiais e seus arranjos, para desenvolver componentes e peças como outros materiais compósitos.

Os avanços na fabricação de peças utilizando Manufatura Aditiva devem impactar ainda mais no comportamento e na Gestão da Cadeia de Suprimentos. Quanto maior a diversificação de matéria-prima usada pelas impressoras 3D e quanto mais rápida ela se tornar, mais produtos devem ser fabricados pela Manufatura Aditiva, encurtando o modelo de Cadeia de Suprimentos.

7.3 BARREIRAS LEGAIS QUE PODEM DIFICULTAR O AVANÇO DA MANUFATURA ADITIVA

Essa seção tem como objetivo analisar as barreiras que a Manufatura Aditiva deve enfrentar nos próximos anos. Ao que tudo indica, o problema mais sério com relação à Manufatura Aditiva e que ainda precisa ser resolvido com longos debates e que pode gerar barreiras de forma legal, se refere aos direitos autorais e de patentes. Os três últimos construtos da pesquisa levantam essa questão. É importante entender, segundo a visão dos especialistas, se as barreiras legais podem influenciar de alguma forma o avanço e o uso da Manufatura Aditiva.

Conforme comentários dos especialistas, em se tratando de Brasil, as leis de patentes e direitos autorais são muito pouco respeitadas, além de serem antigas e necessitarem de uma reformulação urgente. A importância de debater sobre leis de patentes e direitos autorais está diretamente ligada à continuidade do uso da Manufatura Aditiva como ferramenta de apoio às estratégias organizacionais e isso também inclui as estratégias para a Gestão da Cadeia de Suprimentos.

O aspecto legal para as empresas distribuidoras de produtos fabricados por impressoras 3D, indústrias que buscam produzir suas próprias peças de reposição e até mesmo o comércio de produtos como brinquedos fabricados por impressoras 3D, por exemplo, ainda é fonte de forte debate jurídico no Brasil e em muitos países. O registro de patentes pode vir a se tornar um problema para essas empresas que investem para tornar a Manufatura Aditiva uma realidade comum na produção de produtos, seja na indústria, no distribuidor, atacado ou no comércio.

O tema por si só é fonte de debates em trabalhos acadêmicos e em discussões jurídicas, estando longe de se esgotar ou de chegar a uma solução sem implicações negativas. É notório que os atuais modelos de proteção à propriedade intelectual não são suficientes para proteger os desenvolvedores das ideias e invenções perante as novas evoluções proporcionadas pelas tecnologias disponíveis no mercado de consumo. A tecnologia de hoje já permite que um objeto seja escaneado e em seguida duplicado por uma impressora 3D. A questão nesse caso está na comercialização do produto copiado, que infringe a lei de direitos autorais.

A Manufatura Aditiva está sendo usada ou testada em praticamente todas as áreas da Cadeia de Suprimentos. Em virtude das facilidades alcançadas até agora com essa tecnologia, torna-se pouco provável que se consiga parar o avanço das impressoras 3D, por causa de problemas legais. Direitos autorais de marcas, patentes ou desenhos industriais precisarão ser revistos e alterados, uma vez que qualquer usuário pode baixar pela internet um arquivo STL e imprimir o produto. A necessidade nesse caso está na criação de novas leis de proteção da propriedade intelectual que inclua os benefícios da Manufatura Aditiva.

CAPÍTULO 8 - CONCLUSÃO

Uma vez apresentado os dados e as análises da pesquisa e a finalização das discussões, nesse Capítulo serão discutidas as considerações finais do que foi descoberto, seguido de uma discussão de potenciais pesquisas futuras.

8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como objetivo principal estudar, analisar e apresentar as relações ou impactos do efeito da Manufatura Aditiva na Cadeia de Suprimentos, por meio da apresentação de construtos levantados ao longo da pesquisa bibliográfica. Utilizou-se, para isso, o método Delphi como técnica para se obter o consenso de especialistas nas áreas de Manufatura, Manufatura Aditiva e Cadeia de Suprimentos, que possam resultar em cenários futuros em médio e longo prazo.

A construção e seleção de 33 construtos por meio de fontes bibliográficas que abordassem de forma genérica as principais influências que essa tecnologia pode causar de forma direta ou indireta na Cadeia de Suprimentos demonstrou que na maioria desses agentes existe uma forte tendência para o uso da Manufatura Aditiva como estratégia de negócio, seja para produção interna ou externa.

O uso da Manufatura Aditiva para atender pequenos lotes de demanda, produzir peças de reposição, reduzir estoques ou *lead time* de entrega de alguns produtos é considerado válido e promissor. Fica evidente defender o uso da Manufatura Aditiva como mecanismo de redução de custos e de desperdícios de produção, agilidade na confecção de peças protótipos e de peças com *designs* complexos e de produzir peças para pronta entrega ao cliente final.

Nesse quesito, empresas de grande porte e com foco em pesquisa e desenvolvimento realizam estudos sobre qual a melhor forma de utilizar uma impressora 3D em sua linha de produção. É fato que as impressoras 3D já estão sendo usadas no comércio para produzir

peças como brinquedos ou souvenir, ou até para produzir uma quantidade limitada de peças funcionais. No entanto, seu uso como ferramental de produção ainda é limitado à velocidade e ao alto custo da aquisição do equipamento.

As impressoras 3D ainda possuem limitadores que as impedem de se tornarem mais comuns nas organizações. Imprimir em PLA ou ABS é diferente da impressão a laser, que utiliza matéria-prima diferenciada e uma tecnologia de custo alto. Os custos elevados para aquisição e compra tanto da impressora quanto da matéria prima como o metal em pó, inibem o investimento da maioria das empresas.

Na Cadeia de Suprimentos as mudanças podem ser sentidas ainda de forma modesta, porém com potencial de aumentar conforme as impressoras 3D se tornam acessíveis, rápidas e adquirem multifunções. Conforme a pesquisa demonstra, essas características para as impressoras veem acontecendo de forma acelerada e nos últimos 10 anos o preço de uma impressora 3D caiu de 18 mil dólares para apenas 400 dólares e sua velocidade de impressão aumentou 100 vezes.

É possível que as empresas possam trabalhar com seus parceiros da Cadeia de Suprimentos a fim de criar uma rede de impressoras 3D ou uma Cadeia Aditiva de Suprimentos, na qual cada integrante atuará, de maneira individual, como uma pequena fábrica, com suas operações coordenadas e usando a Tecnologia de Manufatura Aditiva como diferencial. Com esse processo as distâncias entre a Cadeia de Suprimentos se reduzem e alguns fabricantes entenderão que para alguns produtos ou peças já não será mais financeiramente viável ou eficiente enviá-los para o mundo todo, já que a fabricação desses produtos pode acontecer em qualquer lugar.

Existirá uma tendência nas Cadeias de Suprimentos de se tornarem mais regionais com uso da Impressão 3D, levando à criação de novos conceitos na área, como pequenos fornecedores/fabricantes expressos. Seu potencial de customizar produtos, peças ou acessórios, por exemplo, satisfaz um conjunto de necessidades de clientes cada vez mais exigentes com a qualidade e a velocidade das entregas dos produtos requisitados, quando e onde precisarem.

As mudanças no modelo tradicional da Cadeia de Suprimentos devem acontecer de forma mais perceptível na medida em que o custo de fabricação de um produto produzido por uma impressora 3D diminua ao ponto de ser equiparado ao mesmo custo unitário, se fosse produzido em grande escala. Algumas peças fabricadas pelo processo de Manufatura Aditiva

já se tornam mais baratas do que se fossem produzidas pelo método de fabricação subtrativo ou formativo. A impressão de protótipos dentro da própria fábrica, sem a necessidade de um terceiro, tem produzido bons resultados com relação ao tempo de entrega de peças conceito, dando agilidade a muitos projetos.

Sendo assim, a pesquisa demonstrou por meio dos 33 construtos e pela opinião dos especialistas que o uso da Manufatura Aditiva e sua influência ou impacto na Cadeia de Suprimentos acontecerá de forma gradual em médio e longo prazo, considerando os próximos 10 anos. As mudanças na Cadeia de Suprimentos serão consideráveis possibilitando e criando novas estratégias de gestão e novos conceitos para sua arquitetura.

8.2 POTENCIAIS PESQUISAS FUTURAS

Nessa sessão apresentam-se potenciais estudos a serem desenvolvidos no futuro.

Este trabalho abre um leque de possibilidades para outras pesquisas que envolvam a Cadeia de Suprimentos, sendo a Impressão 3D apenas uma das tecnologias que pode impactar as Cadeias de Suprimentos dentro da Quarta Revolução Industrial. Cada um dos 33 construtos apresentados pode se tornar um tema relevante de outras pesquisas, propondo reflexões acadêmicas que mereçam destaque e um maior poder investigativo. Com o avanço e a popularização da Impressão 3D, em breve será possível analisar de forma mais quantitativa as vantagens e desvantagens da Tecnologia na Cadeia de Suprimentos. Conforme as dimensões da pesquisa realizada, segue abaixo algumas questões que provocam discussões sobre o tema pesquisado:

- O consumidor final irá produzir peças cada vez mais complexas e resistentes em domicílio?
- Até que ponto a Impressão 3D irá afetar a flexibilidade e customização de produtos nas linhas de produção?
- Existirá uma relação custo x benefício viável para todas as empresas interessadas em adquirir uma impressora 3D?
- A Cadeia de Suprimentos pode aderir a um novo modelo de conceito, uma vez que o produto passa do computador direto para fabricação?
- Qual o real impacto da popularização da Impressão 3D nos estoques e nas transportadoras?

- Quais os novos negócios a Impressão 3D ainda pode proporcionar para cada elo da Cadeia de Suprimentos?

- Como a engenharia de materiais pode ajudar a desenvolver a Tecnologia de Manufatura Aditiva?

É importante ressaltar que da mesma forma que existe uma tendência para a busca redução de custos com a utilização da Manufatura Aditiva, paralelamente há uma tendência evolutiva de aprimoramento técnico das impressoras 3D, tornando-a cada vez mais rápida e barata. Esse desenvolvimento deixará as peças mais resistentes e leves, o que se torna extremamente atraente para indústria aeronáutica e automobilística. A verdadeira empolgação sobre a Manufatura Aditiva não está no presente, mas no que ela pode proporcionar no futuro próximo. Embora essa tecnologia apresente soluções de nicho, ainda precisa evoluir na área de baixo volume de produção.

REFERÊNCIAS

- ACATECH – **National Academy of Science and Engineering**, 2016. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf> Acesso em: 05 mar. 2017.
- ACATECH. **Impressão 3D, tecnologia, possibilidades e visões**. 2017. Disponível em: <<http://www.acatech.de/>> Acesso em: 20 nov. 2017.
- ACHILLAS, C. et al. A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory. **Journal of Manufacturing Systems**. 2014.
- AGUIAR, L. De C. D. **Um processo para utilizar a tecnologia de Impressão 3D na construção de instrumentos didáticos para o Ensino de Ciências**, 2016. 226 f.: il. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2016.
- American Society of Mechanical Engineers - **Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos**, 2017. Disponível em: <<http://asmedigitalcollection.asme.org/index.aspx>> Acesso em: 25 mai. 2017.
- ALMEIDA, M. de S. Cultura organizacional e atitudes contra mudanças. **In Revista de Ciências da Administração**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, ano 1, nº. 0, ago. 1998.
- ALMIR M. A. **Prototyping**. E-book Kindle. São Paulo. Ed. FIAP. 2016.
- ARMSTRONG, J. Strategic Planning and Forecasting Fundamentals. In: ALBERT, K. **The Startegic Management Handbook**. New York: MacGraw Hill, 1983.
- ANDERSON, Chris. **Makers - A nova revolução industrial**. São Paulo: Elsevier, 2012.
- ARCHER, B. Forecasting Demand: Quantitative and Intuitive Techniques. **International Journal of Tourism Management**. v.1, n.1, p. 5-12, 1980.
- ASTM F2792-12a, **Terminologia Padrão para Tecnologias de Fabricação de Aditivos**, (Retirada 2015), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012. <<http://www.astm.org>> Acesso em: 20 jun. 2017.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial** / Ronald H. Ballou; tradução Elias Pereira. – 4 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2012.
- _____. **Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física** / Ronald H. Ballou; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki – São Paulo: Atlas, 1993.

BALBINOTTI, M. A., Benetti, C., & Terra, P. R. S. (2006). Translation and validation of the Graham-Harvey survey for the Brazilian context. **International Journal of Managerial Finance**, 3 (1), 26-48.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2009.

BEAMAN, J.J., Marcus, H.L., Bourell, D.L., Barlow, J.W. and Crawford, R.H., 1997, “**Solid Freeform Fabrication**: a new direction in manufacturing”, Dordrecht London: Kluwer Academic Publishers, 330 p.

BERGER, G. Atitude prospectiva. **Parcerias estratégicas**, Brasília, n.19, p.311-317, dez. 2004. Disponível em: http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_19.pdf . Acesso em: 10 jul. 2014.

BERGER, R. **Saiba como a impressora 3D pode salvar a vida de animais silvestres**. 2015. Disponível em: <https://www.zoom.com.br/impressora-e-multifuncional/deumzoom/saiba-como-a-impressora-3d-pode-salvar-a-vida-de-animais-silvestres>. Acesso em: 20 de dez. 2017.

BLATTBERG, R. C.; HOCH, S. J. Database Models and Managerial Intuition: 50% Model + 50% Manager. **Management Science**. v. 36, n. 8, p. 887-899, 1990.

BLANNING, R.W. e REINING, B.A. **Building Scenarios for Hong Kong Using EMS**, Long Rang Planning, vol. 31, n. 6, p. 900-910, 1998.

BOWERSOX, D. J. CLOSS, D. J. **Logística empresarial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

_____. **Phisycal Distribution in semi-maturity**. **Air Transportation**, p 9-11, jan. 1996.

BRYMAN, A.: **Research methods and organization studies**, London, Uniwin Hyman, 1989.

BRYNJOLFSSON, Erick e MCAFEE, Andrew. **A Segunda era das máquinas**. São Paulo. Alta Books, 2015.

BUFFA, E.S.: **Meeting the Competitive Challenge**, Irwin, 1984.

CAUCHICK M.; P. A. **Levantamento tipo Survey**. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. Ed. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2011. p. 75-102.

CAMPOS, Luiz Emanuel S M. **Prototipagem rápida** – Definições, Conceitos e Prática, 1ª edição, Buenos Aires, Delearte em campos, 2011.

CARVALHO, J., ”**Conceitos Básicos em Prototipagem Rápida**”. Disponível em: http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/prototipagem.html > Acesso em: 15 de out. 2016.

CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V. **Curso de capacitação de equipes para estudos prospectivos de cadeias produtivas industriais**. Florianópolis: MDIC/STI, 2001.

CASSEPP-BORGES, V., BALBINOTTI, M.A.A. & TEODORO, M.L.M. (2010). **Tradução e validação de conteúdo: uma proposta para adaptação de instrumentos**. In: Pasquali, L. (Org.), Instrumentação psicológica. Fundamentos e práticas (pp.506-520). Porto Alegre: Artmed.

CHALMRES, A. F. **What is this thing called science?** 3. Ed. Sidney: open University Press, 1999.

CHAFFIN, W., & TALLEY, W. (1980). **Individual stability in Delphi studies**. Technological Forecasting and Social Change, 16(1), 67–73.

CHAMBERS, J. C.; MULLICK, S. K.; SMITH, D. D. How to Choose the Right Forecasting Technique. **Harvard Business Review**. v. 49, July-August, p. 45-57, 1971.

CHANG, H-J. **Compreender a relação entre instituições e economia**. Desenvolvimento de algumas questões teóricas fundamentais. Nova Iorque: imprensa das Universidades das Nações Unidas, 2007.

CHIAVENATO, Idalberto; SAPIRO, Arão. **Planejamento estratégico: fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CHUA, C.K; LEONG, K.F.; LIM, C.S. 2003. **Rapid Prototyping: Principles and Applications**. 2º ed. Cingapura: World Scientific.

SCHUMPETER, A. J. **History of Economic Analysis**. 1 ed. Great Britain: Allen & Unwin Publishers, 1954.

SCHUMPETER, A Joseph. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

CARDOSO, N. A. **Método de Análise e Validação nas Investigações em Educação em Ciências e Matemática na REAMEC: Método Delphi como Critérios de Triagem**, Tese de Doutorado – UFMT – MT, 2016.

CNI – Confederação Nacional das Indústrias. **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. Disponível em:
<http://www.portaldaindustria.com.br/relacoesdotrabalho/media/publicacao/chamadas/SondEspecial_Industria4.0_Abril2016.pdf> Acesso em 24 fev. 2017.

CNI – Confederação Nacional das Indústrias. **Pesquisa inédita da CNI mostra cenário da indústria 4.0 no Brasil**. Disponível em:
<<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2016/05/pesquisa-inedita-da-cni-mostra-cenario-da-industria-4-0-no-brasil/>> Acesso em: 02 mar. 2017.

CORRÊA, H; CORRÊA, Carlos. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 2013.

CORRÊA, H. L.; **Gestão de Redes de Suprimento: integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado**. São Paulo: Atlas, 2010.

CROWTHER, M.; COOK, D. **Trials and tribulations of systematic reviews and meta-analysis.** *Hematology*, p. 493-507, 2007.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa:** métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CRUZ, Vilma Aparecida Gimenes da. **Metodologia da pesquisa científica:** curso de graduação em administração-bacharelado 3 São Paulo: Person Education do Brasil, 2009, 182p.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. **CSCMP Supply Chain Management Definitions.** 2012. Disponível em: <<http://www.cscmp.org/>> Acesso em 30 de abr. 2017.

CSCMP (2007) Council of Supply Chain Management Professional. **Definição de Supply Chain Management.** Disponível em: <<http://www.cscmp.org/>> Acesso em 30 de abr. 2017.

CUNICO, M. Ph.D. Impressoras 3D: **O Novo meio produtivo.** 1º. Ed. Paraná, v. 1. 171 p. Ed. Paperback – 2015.

DA SILVA, R. M. **Sistema de controle da indústria 4.0:** modelagem e técnicas de projeto. E-book Kindle. São Paulo. 2016.

DANGAYACH, G. S.; PATAK, S. C. &SHARMA, A. D. **Advanced Manufacturing Technology: a way of improving technological competitiveness.** *International Journal of Global Business and Competitiveness*, v. 2, n. 1, pp. 1-8, 2006.

DAVIS, S. **Futuro perfeito.** São Paulo: Nobel, 1990.

DALKEY, N. **The Delphi method: experimental study of group opinion.** Rand Corporation, 1969.

DAWES, J.; BOWERMAN, R.; TREPLETON, R. Introduction to the additive manufacturing powder metallurgy supply chain. **Johnson Matthey technology review**, v.59, n.3, p.243–256, 2015.

DRESCH, A. et al. **Design Science Research:** método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. 204p.

FARIA, A. C. **Uma abordagem na adequação das informações de controladoria à gestão da logística empresarial,** Tese de Doutorado – ISP – SP, 2003.

FDC – Fundação Dom Cabral. **O que seria a Indústria 4.0.** Boletim: Fevereiro/2016. Disponível em:

<http://www.fdc.org.br/professoresepesquisa/nucleos/Documents/inovacao/digitalizacao/boletim_digitalizacao_fevereiro2016.pdf> Acesso em 24 fev. 2017.

FERREIRA, K. A.; ALVES, M. R. P. A. **Logística e troca eletrônica de informação em empresas automobilísticas e alimentícias.** *Produção*, São Paulo, v.15, n.3, dezembro 2005.

FERREIRA, P. V. 1991. **Estatística Experimental aplicada à Agronomia**. EDUFAL, 437p.

FILIPPINI, R.: **Operations management research** : some reflections on evolution, models and empirical studies in OM. International Journal of Operations and Production Management, v.17, n.7, pp.655-670, 1997.

FINK, A., et al. **Consensus methods: characteristics and guidelines for use**. AJPH, 74, 1984.

FLEURY, P. F. **Logística empresarial** – A Perspectiva Brasileira. São Paulo: Atlas, 2000.

FORRESTER, J. **Industrial Dynamics**. Harvard Business Review. Boston, n. 36, julho – agosto 1958.

GARCIA, L.H.T. **Desenvolvimento e fabricação de uma mini-impressora 3D para cerâmicas**. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Projeto Mecânico. UFSCAR. São Carlos, 2010).

GASNIER, D.; BANZATO, E. **Armazém inteligente, Revista LOG Movimentação e Armazenagem**, São Paulo, n. 128, p. 16 jun. / 2001.

GARTNER GROUP. **Vendas de impressoras 3D vão mais que dobrar em 2016**. <https://computerworld.com.br/2016/10/17/para-o-gartner-vendas-de-impressoras-3d-vaio-mais-do-que-dobrar-em-2016>. 2016. Acesso em 20 de fev. 2017.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct Digital manufacturing**. 1. ed. Nova York: Springer, 2009.

_____. **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing**. Springer, 2014.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOTHAIT, H. **Apparatus and method for three dimensional model printing USA**: Objet Geometries Ltd 1999.

GOLDSBERRY, C. **Rapid change in additive manufacturing landscape**. Plastic today. <<http://www.plasticstoday.com/articles/rapid-change-additive-manufacturing-landscape>> 2009. Acesso em 15 nov. 2016.

GRISI, C. C. H.; BRITTO, R. P. Técnica de Cenários e o Método Delphi: uma aplicação para o ambiente brasileiro. In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO FEA-USP, 6. 2003, São Paulo. **Anais**. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000183&pid=S1413-152201300010000400013&lng=pt . Acesso em: 27 set. 2017.

GUO, N., LEO, M. **Additive Manufacturing** technology, applications and research needs. Frontiers of mechanical engineering, 2013.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. *Design Science in information systems research. MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.

Hernández-Nieto, R.A. (2002). **Contributions to statistical analysis**. Mérida: Universidad de Los Andes.

ISO 10241-1, Terminological entries in standards — Part 1: General requirements and examples of presentation.

ISO 10303, Industrial automation systems and integration — Product data representation and Exchange.

ISO 17296-2, Additive manufacturing — General principles — Part 2: Overview of process categories and feedstock.

ISO/ASTM 52915, Standard specification for additive manufacturing file format (AMF).

ISO/ASTM 52921, Standard terminology for additive manufacturing — Coordinate systems and test methodologies.

3DPRINTING. **Impressão 3D confere otimismo para fabricantes nos Estados Unidos, revela estudo**. 2016. Disponível em: <<http://www.3dprinting.com.br/noticias/impressao-3d-confere-otimismo-a-71-dos-fabricantes-nos-eua-revela-estudo-da-ricewaterhousecoopers-pwc/>> Acesso em: 04 mai. 2017.

WOHLERS ASSOCIATES. Em todo o mundo, a Impressão 3D está acelerando rapidamente. 2018. Disponível em: <<http://www.wohlersassociates.com/>> Acesso em: 15 dez. 2018.

KELLY, Kevin. **A economia interconectada**. HSM Management – edição especial, março – abril, 2000.

KITSON, P. J.; GLATZEL, S.; CHEN, W.; LIN, C. G.; SONG, Y. F.; CRONIN, L. **3D printing of versatile reactionware for chemical synthesis**. *Nature protocols*, v 11:5, 920-936, 2016.

LAMB, Frank. **Automação industrial na prática**. 1º ed. Porto Alegre. AMGH. Editora, 2015.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M.C.; PAGH, J.D. **Supply Chain Management: Implementation issues and research opportunities**. *The International Journal of Logistics Management*, v. 9, n. 2, 1998.

LICKERT, Paul S. (1997). **Management information systems: a strategic leadership approach**. Orlando: The Dryden Press.

LIPSON, Hod e KURMAN, Melba. **Fabricated: The New World of 3D Printing**. 1 th ed. Indianapolis, IN John Wiley & Sons Inc. 2013.

LUFTMAN, J. N.; LEWIS, P. R.; OLDACH, S. H. **Transforming the enterprise: the alignment of business and information technology strategies**. IBM System Journal, v. 32, n. 1, p. 198-220, 1993.

MACEDO, N. D. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: um guia do estudante para a fundamentação de pesquisa**. São Paulo: Loyola, 1994.

MACCARTHY, B.L. & FERNANDES, F.C.F.: “**A multi-dimensional classification of Production systems for the design and selection of Production planning and control systems**”. Production Planning & Control, v. 11, no 5, pp 481-496, 2000.

MANUFACTURING.GOV. **National Advanced Manufacturing Portal**. Disponível em: <<https://www.manufacturing.gov/nmii-institutes/>> Acesso em: 01 mar. 2017.

MANYIKA, James; et al. **Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013**. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>>. Acesso em 20 de jun. de 2017.

MARTINICH, J.S.: **Production and Operations Management** – na applied modern approach. John Wiley & Sons Inc., 1997.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

MANÇANARES, C. G. **Modelo de processo de avaliação para adoção de manufatura aditiva na indústria de alto valor agregado**. 136 pag. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências. USP. São Paulo, 2016.

MAZZEO, M. A. P. (2001). **A Importância da informação na logística: programação de peças pequenas por nível de estoque na Fiat**. 203 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

MARX, K. **Contribuição à crítica da economia política**. 2 ed. São Paulo: Martins Fontes, 1983.

MARTINA F., A. C. Addison, J. Ding, G. Pardal, and P. Colegrove, “**Wire + arc additive manufacturing**,” Mater. Sci. Technol., vol. 836, no. March, 2015.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. **Forecasting: Methods and Applications**. 3. ed., New York: John Wiley & Sons, 1998.

MATSUBARA, K. Molding method of casting using photocurable substance, Japanese Kokai Patent Application, Sho 52 [1976] – 10813, 1974.

MCKINSEY; **The Internet of Things**. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/businessfunctions/businesstechnology/ourinsights/theinternet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>> Acesso em: 07 mar. 2017.

MCKINSEY; **Avanços que transformaram a vida: os negócios e a economia global.** Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>> Acesso em 25 mar. 2017.

PORTAL MECANICA ONLINE. Mercedes-Benz inova com impressão de peças em 3D para caminhões. Disponível em: <http://mecanicaonline.com.br/wordpress/2016/07/21/mercedes-benz-inova-com-impressao-de-pecas-em-3d-para-caminhoes/>. Acesso em 20 dez. 2017.

METZGER, P.; MUSCATELLO, A.; MUELLER, R.; **Rapid Bootstrapping of the Space Industry.** Journal of Aerospace Engineering, 26, pp. 18-29, 2013.

MIETTI, M. A.; VENDRAMENTO, O. **Uso de prototipagem rápida como fator de Competitividade.** Publicação ENEGEP- 2000. Universidade Paulista UNIP.

MIGUEL, P. A. C. (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTEIRO, M. T. F. **A Impressão 3d no meio produtivo e o design [manuscrito]: um estudo na fabricação de joias.** 2015. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG. 2015.

MORITA, S. e SUGIYAMA K. **Sheet lamination modeling method and sheet lamination modeling apparatus:** Kira Corporation: 27p. 2000.

MØLLER, M. M.; JOHANSEN, J.; BOER, H. **Managing buyer-supplier relationships and inter-organisational competence development.** Integrated Manufacturing Systems, v.14, n.4, p.369-379, 2003.

MUNZ, O. J., **Photo-glyph recording,** US. Patent 2,775,758,1956. Disponível em: www.uspto.gov.br. Acesso em: 08 dez. 2016.

MYERS, M. D. (1997). Qualitative research in information systems. In MISQ Discovery, volume 2. MIS Quarterly.

NAMII – **National Additive Manufacturing Innovation Institute.** Disponível em: <<http://www.prototypetoday.com/department-of-energy/new-public-private-partnership-to-support-manufacturing-innovation>> Acesso em: 26 fev. 2017.

NASCIMENTO, A. A. do. **Tendências e Tecnologias em Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva.** 2013. 105 p. dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

NEVES, M. F. **Planejamento e Gestão Estratégia de Marketing** – São Paulo: Editora Atlas – 2005. 232 p.

NORMAN, DK., et al. **Critical features of a curriculum in health care quality and management.** QRB, 9, 1990.

NSTC, 2012. **A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing,** Washington, DC: Executive Office of the President of The US.

OLIVEIRA, D. de P. R. **Sistemas de informações gerenciais**: estratégias, táticas, operacionais. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

PASQUALI, L. (2009). **Validade dos testes psicológicos**: será possível reencontrar o caminho? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 23 (n. especial), 99-107.

PETROVIC, V., GONSALEZ, J. V. H., Ferrando, O. J., Gordillo, J. D., Puchades, J. R. B., & Grin'an, L. P. (2011). **Additive layered manufacturing**: Sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), 071—1079.

PIMENTEL-GOMES, F. **O índice de variação**: um substituto vantajoso do coeficiente de variação. Piracicaba: Ipef. 1991. 4 p. (Circular técnica, 178).

PORTER, M. E. **Estratégias Competitivas**: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência. 16º ed. Campus. Rio de Janeiro, 2004.

PORTO, T. M. S. **Estudo dos avanços da tecnologia de Impressão 3D e da sua aplicação na construção civil**. 2016. 92 f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: Acesso em 20 jul. 2017.

RAULINO, B. R. **Manufatura aditiva**: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida. Trabalho de graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG- 2011 Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

REVISTA ÉPOCA NEGÓCIOS. Indústria recorre a mais Impressão 3D e uso da tecnologia cresce 30%. 26/02/2017. São Paulo. Disponível em:

<https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/02/industria-recorre-mais-impressao-3d-e-uso-da-tecnologia-cresce-30.html> Acesso em: 15/06/2018.

REEVES, P., & MENDIS, D. **The Current Status and Impact of 3D Printing Within the Industrial Sector** : An Analysis of Six Case Studies. Intellectual Property Office. 2015.

ROGERS, Jerry. **The 3D Printing Bible: Everything You Need To Know About 3D Printing** (3D Printing, 3D Modelling, Additive Manufacturing. BMS Publishing), 2014.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542p.

RICARDO, David. (1817) **Princípios de economia política e tributação**. São Paulo: abril Cultural, 1982.

RODRIGUES, M. R. e NEUMANN, G. M. **Fotopolimerização**: Princípios e Métodos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.13, p.276-286. 2003.

SANTOS, J. J. H. **Automação Industrial**. 1º ed. São Paulo, 1979.

SCARPARO, A.F; LAUS, A.M; AZEVEDO, A.L.C.S; FREITAS, M.R.I; GABRIEL, C.S; CHAVES, L.D.P. **Reflexões sobre o uso da técnica Delphi em pesquisas na enfermagem**.

Revista Rene, v.13, n.1, p.242 a 251. 2012. Disponível em: www.revistarene.ufc.br/revista/index.php/revista/article/download/.../31. Acesso em: 12 de nov. 2017.

SANDERS, R.C., J.L.FORSYTH, et. Al. **3D model making**. US Patent Office: Sanders Prototypes Inc. 1998.

SANTANA, C.; OLIVEIRA, D.; MEIRA, A. **Personalização de imóveis verticais residenciais**: um estudo exploratório nas construtoras da cidade de João Pessoa. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa, PB, 2007.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. 1. Ed. São Paulo: editora Edipro, 2017.

SCHOEMAKER, Paul J. H. Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. **Sloan Management Review**, v. 36, n.2, Winter 1995.

CHOI, Soon-Yong, STAHL, Dale, WHINSTON, Andrew. **The economics of electronic commerce**. Indianápolis: McMillan Technical Publishing, 1997.

SIPPER, D. & BULFIN JR.; R.L.: **Production: planning, Controle and Integration**, New York: Mc Graw Hill, 1997.

DA SILVEIRA, G.; BORENSTEIN, D.; FOGLIATTO, F. S. **Mass customization**: literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Netherlands, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00079-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00079-7).

Site do conselho de profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos. Disponível em: <https://cscmp.org/iMIS0/CSCMP/>. Acesso em 28 março de 2017.

SKRABE, C. **O Brasil, Davos e a Revolução Industrial 4.0**. Disponível em: http://www.digitaleiro.com.br/asaidadigital/brasil40_davos_e_a_revolucao_industrial_4-0/. Acesso em 15 de mar. 2017.

SLACK, Nigel. et al. **Administração da produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, A. **The wealth of nations**. New York: Penguin Books, 1776.

STRATASYS. **Tecnologias de Impressão 3D da Stratasys**. Disponível em: <http://www.stratasys.com/br/impressoras-3d/technologies>. Acesso em: 25 fevereiro de 2017.

SKINNER, W. Letters to Editor. **Harvard Business Review**, Nov/Dec, 1992, p. 142-143.

SOUZA, T. R., VOLPATO, N. e MENEZES, R. M. Um Aplicativo para o Processamento de Geometria de Prototipagem Rápida. **XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE**. Curitiba-PR 2004.

TAKAGAKI, Luiz Koiti. **Tecnologia de Impressão 3D**. *Revista Inovação Tecnológica*, São Paulo, v.2, n.2, p.28-40, jul/dez. 2012.

THOMPSON, Rob. **Manufacturing processes for design professionals**. London: Thames & Hudson, 2007.

VANDRESEN, M. **Aplicação da técnica do núcleo perdido na injeção de peças complexas, em moldes de ferramental rápido, a partir da estereolitografia**. Referências 176 (Doutorado). Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2004.

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações**. 1. Ed. São Paulo: editora Blucher, 2007.

VOLPATO, N., FOGGIATTO, J. A. e NETO, I. M. Uma Análise Dimensional e de Acabamento Superficial do Processo de Prototipagem Rápida FDM 2000. **Anais do III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Belém/PA: 1-10 p. 2004.

WARSAWSKI, A. **Industrialized and automated building systems: a managerial approach**. New York: E & FN Spon, 1999.

WEIL, K. E. **Compra e estoque de peças para manutenção**. Revista de Administração de Empresas. Vol. 6. Nº 19. São Paulo Apr./June 1966.

WEBER, Julian. **Automotive Development Processes**. Nova Iorque: Springer, 2009.

WHITEHOUSE, **Accelerating US Advanced Manufacturing**. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/PCAST/amp20_report_final.pdf> Acesso em: 20 fev. 2017.

WISCH. Conheça Chuck Hull: **O criador da impressora 3D**. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2016/05/16/chuck-hull/>> Acesso em: 01 mar. 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WRIGHT, J.; GIOVINAZZO, R. Delphi – Uma ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**. São Paulo, v.1, n. 12, p. 54-65, 2000.

YIN, R.K.; *Case study research - design and methods*, Sage Publications, 2ª Ed., 1994.

YIN, R. K. (2005). Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. Bookman, 3ª edição edition.

APÊNDICE A – FONTE E DESCRIÇÃO DOS CONSTRUTOS CRIADOS

IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NA CADEIA DE SUPRIMENTOS			
	CONSTRUTOS	DESCRIÇÃO DO CONSTRUTO	FONTES
CONSUMIDOR FINAL	A impressora 3D se tornará tão comum quanto uma impressora de tinta.	Impressoras que imprimem, por exemplo, usando plástico PLA ou ABS, se tornarão comuns e de baixo custo.	TAKAGAKI, 2012; CUNICO, 2014; WISHBOX, 2016; HOPKINSON E DICKERS, 2003; MOTA, 2011; MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013.
	Custo mais acessíveis na compra de impressoras 3D e industriais para o consumidor final.	Com o avanço da tecnologia, a compra de uma impressora 3D industrial, por exemplo, a SLS - sinterização seletiva a laser pode se tornar mais acessível e permitir a fabricação de mais produtos em domicílio, sem necessitar da Cadeia de Suprimentos convencional.	ECONOMIST TECHNOLOGY: PRINT ME A STRADIVARIUS, 2011); IGOE e MOTA, 2011; GUSTIN, 2012; CHUA; LEONG; LIM, 2010; HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006.
	Redução das vendas no comércio com a popularização da Impressão 3D.	Dado que as impressoras 3D estão se tornando cada vez mais acessíveis ao consumidor final e, sendo assim, alguns produtos poderão ser fabricados em domicílio, o comércio pode ser afetado tanto na venda desses produtos quanto na venda de outros produtos, assim como aconteceu com o comércio eletrônico fazendo com que as pessoas saíssem menos de casa para comprar.	VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014. CO, PATUWO e HU, 1998; MANYIKA, 2013; GARCIA, 2010; KRUTH; LEU; NAKAGAWA, 1998, LEVY; SCHINDEL; GOEL; BOURELL, 2010; HOPKINSON E DICKERS, 2003, AHRENS et al., 2007; CHUA; LEONG; LIM, 2007; CAMPBELL, BOURELL E GIBSON, 2012.
	Oferta de produtos mais baratos ao consumidor final.	Com a popularização da Impressão 3D, o consumidor final poderá adquirir diversos produtos a um custo menor. Seja porque ele mesmo pode fabricar, ou porque os produtos estarão disponíveis (ou fabricados) em qualquer ponto da Cadeia de Suprimentos.	KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; WEIL 1966; KRUTH et al., 1998; CAMPBELL et al., 2011;
CUSTOMIZAÇÃO E FLEXIBILIDADE DE PRODUÇÃO	Redução de ferramental na linha de produção.	Com a tecnologia de Impressão 3D a empresa reduziria a necessidade de moldes, reduzindo seu <i>setup</i> . A produção de moldes de injeção, otimizados para a produção do molde camada por camada, permitindo a definição de geometrias mais complexas.	VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014. CO, PATUWO e HU, 1998; SLACK e LEWIS, 2001; MANYIKA, 2013; GARCIA, 2010; KRUTH; LEU; NAKAGAWA, 1998, LEVY; SCHINDEL; KRUTH, 2003, SREENIVASAN; GOEL; BOURELL, 2010; HOPKINSON E DICKERS, 2003, AHRENS et al., 2007; CHUA; LEONG; LIM, 2007.
	Melhoria nos processos para fabricação de muitos produtos industriais.	A Manufatura Aditiva é ideal para prototipagem por possibilitar custos menores comparativamente aos métodos convencionais (por exemplo, uso de CNC) para produção de lotes pequenos ou unitários, como no caso de protótipos, permite rápida e fácil alteração no projeto e no produto e por apresentar baixo tempo de produção.	CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012; ARCIA, 2010; KELLY, 2000; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013.
	Aumento na oferta de mix de produtos.	Com a Manufatura Aditiva as organizações podem oferecer um número maior de opções de produtos para o cliente e até oferecer um novo serviço de fabricação de produtos.	CROWTHER e COOK, 2007; VOLPATO, 2007; SCHWAB, 2016; GARCIA, 2010; DAVIS, 1990.
	Flexibilidade no volume de produção.	Com a tecnologia de Manufatura Aditiva a empresa pode atender qualquer volume de produção.	KITSON, et. al., 2016; CROWTHER e COOK, 2007; VOLPATO, 2006; SCHWAB, 2016; MANYIKA, 2013; GARCIA, 2010; KELLY, 2000; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013.
	Redução de desperdício de matéria prima.	Em comparação ao CNC, por exemplo, a Manufatura Aditiva permite a fabricação de peças sem desperdiçar MP.	VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; MANYIKA, 2013; DRIZO e PEGNA, 2006; PETROVIC Et al., 2011; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013.

	Agilidade no atendimento à necessidade do cliente.	Com a facilidade de fabricação de algumas peças, a produção delas pode acontecer no varejo ou nos demais agentes da cadeia, sem que, necessariamente, seja uma exclusividade da indústria.	CO, PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; MANYIKA, 2013; MIETTI, VENDRAMETO, 2000; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013.
CUSTOS LOGÍSTICOS	Redução no preço de compra de impressoras 3D industriais.	Com o avanço da tecnologia, o custo de aquisição de uma impressora 3D industrial (SLS - sinterização seletiva a laser) pode permitir a criação de linhas de Impressão 3D nas empresas.	ECONOMIST TECHNOLOGY: PRINT ME A STRADIVARIUS, 2011); IGOE e MOTA, 2011; GUSTIN, 2012; CHUA; LEONG; LIM, 2010; HOPKINSON; HAGUE; DICKENS, 2006.
	Redução do preço final de produtos fabricados por Manufatura Aditiva.	A redução nos custos de fabricação pode influenciar no preço final dos produtos fabricados por Manufatura Aditiva.	MANYIKA, 2013; LOBO, 2014.
	Redução nos custos de armazenagem de peças sobressalentes no almoxarifado.	Com a Manufatura Aditiva as empresas reduziram o volume de peças sobressalentes (MRO - manutenção, reparo e operações) e os custos de armazenagem nos almoxarifados, produzindo, elas mesmas, as peças. Por exemplo, a aviação possui um mercado estimado em 50 bilhões de dólares anual em vendas de peças sobressalentes. Seria possível tanto produzir a peça desejada, quanto reparar peças e ferramentas desgastadas por meio da recomposição, camada por camada, do material. A Marinha dos EUA já realiza testes para produção de peças de navios em alto mar.	KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; WEIL 1966; KRUTH et al., 1998; CAMPBELL et al., 2011; LOBO, 2014; TEAMSAL, 2013; KHAJAVI, PARTANEN E HOLMSTRÖN, 2014; GENERAL ELETRIC, 2014.
	Redução nos custos de estoques de produtos acabados.	Com a Impressão 3D, algumas peças podem ser produzidas diretamente pelo varejista ou distribuidor, reduzindo assim o estoque físico de produtos acabados e os custos de armazenagem. (A Mercedes-Benz Trucks, já possui um modelo de loja nos EUA e Europa onde algumas peças sobressalentes de seus veículos são fabricadas dentro das suas concessionárias e oficinas).	KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; WEIL 1966; KRUTH et al., 1998; CAMPBELL et al., 2011; LOBO, 2014. Link:
CADEIA DE SUPRIMENTOS	Redução no volume de mercadorias transportadas.	Com a possibilidade de fabricação mais próxima do consumidor final é possível que haja uma redução no volume de produtos transportados.	MANYIKA et al., 2013, p. 108; James Manyika e Richard Dobbs são diretores do McKinsey Global Institute, onde Michael Chui é diretor principal; Jacques Bughin é diretor no escritório de McKinsey em Bruxelas; Peter Bisson é diretor no escritório de Stamford; MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013.
	Deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final.	Com a possibilidade de fabricar peças em qualquer lugar, a produção não será mais uma exclusividade da indústria.	CO, PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; MANYIKA, 2013; MIETTI, VENDRAMETO, 2000; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013.
	Simplificação da Cadeia de Suprimentos.	A Manufatura Aditiva torna economicamente viável a personalização do design de cada produto fabricado, reduzindo custos de produção e armazenagem; a indústria deixa de ser o único agente exclusivo da cadeia na produção de produtos; permite alterações na definição de um lote de peças com maior velocidade e facilita o desenvolvimento de uma Cadeia de Suprimentos simplificada.	HOLMSTROM et al. 2010; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013; MANYIKA, 2013; LOBO, 2014; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; WEIL 1966; KRUTH et al., 1998; CAMPBELL et al., 2011; LOBO, 2014.
	Redução de <i>Lead Time</i> de entrega.	Com deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente, o tempo de produção e entrega do produto acabado também diminui, aumentando a satisfação do cliente.	CO, PATUWO e HU, 1998; SCHRODER e SOHAL, 1999; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016. MECHING, PEARCE e BUSBIN, 1995; KITSON, et. al., 2016; MANYIKA, 2013.

	Redução no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes.	Com a redução no transporte de mercadorias, surge um efeito colateral na redução de emissão de poluentes. Outro fato importante é a diminuição no peso dos veículos (aviões, caminhões, carros, etc.) com uso de peças mais leves fabricadas pela Manufatura Aditiva.	KRASSENSTEIN, 2015; WISHBOX, 2016; HIPOLITE, 2015; METZGER, et. al., 2013
	Impacto no lucro das transportadoras.	De acordo com a Jones Land LaSalle EMEA Research, a Impressão 3D tem o potencial de transformar totalmente as cadeias de manufatura e de suprimento como as conhecemos. Nos próximos anos, a fabricação de aditivos criará uma demanda por ambientes de manufatura menores e localizados, capazes de produção customizada, encurtamento de lead time e cortes drásticos nos custos de transporte.	JONES LANG LASALLE PESQUISA EMEA, 2013. (WWW.INDUSTRYWEEK.COM); LOBO, 2014; CARTER, C.; EASTON, 2011.
	Novas estratégias e um novo modelo para Cadeia de Suprimentos.	Um novo relatório sobre a Impressão em 3D (2017) sugere que a indústria tem o potencial de redefinir estratégias de fabricação e Cadeia de Suprimentos.	MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2013; LOBO, 2014; CARTER, C.; EASTON, 2011; LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013; BERMAN, 2012; SEAL, 2012.
	Redução no valor das mercadorias impressas em 3D.	Com o redesenho de algumas Cadeias de Suprimentos, alguns produtos fabricados em impressoras 3D não necessitam percorrer grandes distâncias. Conforme Ballou (1998) 1/3 a 2/3 dos custos de um produto está relacionado ao transporte e armazenagem.	KITSON, et. al., 2016; VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; WEIL 1966; KRUTH et al., 1998; CAMPBELL et al., 2011;
NOVOS NEGÓCIOS	Surgimentos de novos negócios envolvendo Impressão 3D.	Criação de pequenos centros ou redes de fabricação de Manufatura Aditiva para atender demandas (bens de consumo) de pessoas físicas e/ou empresas locais.	DAY, 2011; WISHBOX, 2016; GERAEDTS, J.; VERLINDEN, E. D. J.; STELLINGWERFF, 2012.
	Falta de mão de obra capacitada na área.	Pode ocorrer a falta de MOB conhecedora de tecnologia de informação, impressoras 3D e design para trabalhar na organização.	SCHWUAB, 2016.
	Benefícios na construção civil.	Na Ásia já é uma realidade a construção de casas e prédios com uso da tecnologia de Impressão 3D, diminuindo custos com a Cadeia de Suprimentos e tempo de construção.	TECTUDO, 2015; SANTOS, 2014; LOPES, 2016; TAKAGAK, 2012; DOLHAN, 2016; VOLPATO, 2007; PINHEIRO, 2016; URBAN 3D, 2015; PORTO, 2016.
	Uso da Impressão 3D para produção de peças obsoletas, não mais fabricadas pelas indústrias.	A Impressão 3d pode fabricar peças antigas, por exemplo, para veículos antigos e que não são mais encontradas nas oficinas ou ferros velhos.	CROWTHER e COOK, 2007; VOLPATO, 2007; SCHWAB, 2016; GARCIA, 2010; DAVIS, 1990.
	Benefícios na medicina e na odontologia.	Próteses leves, rápidas, baratas e ajustadas ao paciente. Impressão de imagens, pré-operatórios ajudam os médicos a realizarem uma cirurgia com segurança e aumenta as chances de recuperação do paciente. Ao combinar varredura oral, design CAD/CAM e Impressão 3D, os laboratórios dentários podem produzir de forma rápida e precisa coroas, pontes, modelos rígidos e uma ampla gama de dispositivos ortodônticos.	TECTUDO, 2015; VOLPATO, 2007; WISHBOX, 2016; RAULINO, 2011; CUNICO, 2017; SACHLOS; CZERNUSZKA, 2003, GIANNATISIS; DEDOUSSIS, 2009; WEBSTER, 2013; CAMPBELL, BOURELL E GIBSON, 2012; CZAJKIEWICZ, 2006; CHUA, LEONG E LIM, 2010.
INOVAÇÃO	Desenvolvimento de novas matérias primas e novos produtos.	Com o avanço da Tecnologia de Impressão 3D, surgem novas pesquisas no campo da engenharia de materiais.	VOLPATO, 2007; CUNICO, 2014; SCHWAB, 2016; GUO E LEU, 2013; BROWN, T. D.; DALTON, P. D.; HUTMACHER, 2011.
	Desenvolvimento de peças mais leves e eficientes.	A Tecnologia de Manufatura Aditiva possibilita a produção de peças com design complexos e mais leves. Facilidade de compartilhamento de projetos. Capacidade de produzir peças funcionais.	LUO et al, 1999; MORROW et al, 2006, BOURELL; LEU; ROSEN, 2009, REEVES & MENDIS, 2015, VAYREA; VIGNATA; VILLENEUVEA, 2012, HUANG; LIU; MOKASDAR, 2013; BERMAN, 2012; SEAL, 2012.
	Melhoria na rastreabilidade de produtos.	Com essa tecnologia aliada à prototipagem rápida consegue-se uma rastreabilidade de informações que antes não era possível, permitindo uma gestão de conhecimentos, indicadores, para melhorar tanto os processos, quanto os produtos, eliminando o desperdício e falhas.	TORNABELL, 2015; KOLBERG E ZUHLKE, 2015; MIETTI, VENDRAMETO, 2000; GOMES, 2011; PORTO; SOUZA; RAVELLI; BATOCCHIO, 2002, COSTA, AURELIANO, LOPES, RODRIGUES, 2016.

PATENTES	Aumento do número de processos judiciais.	Se o objeto inteiro a ser escaneado estiver patenteado, simplesmente digitalizar o objeto e fazer um arquivo CAD sem permissão não violaria a patente. No entanto, compartilhar esse arquivo ou usá-lo para imprimir o objeto patenteado seria.	WIDMER, M., 2016; RAJAN, V. 2016; LEMLEY, 2015; WEINBERG, 2013; HANNA, 2011; OSBORN, 2014; BARBOSA, 2011; ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL PARA A PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL (AIPPI); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL (OMPI).
	Aumento do número de registros de patentes.	O aumento no compartilhamento de arquivos e projetos e a popularização da Tecnologia de Impressão 3D pode gerar uma procura maior por registros de patentes.	WIDMER, M., 2016; RAJAN, V. 2016; LEMLEY, 2015; WEINBERG, 2013; HANNA, 2011; OSBORN, 2014; BARBOSA, 2011; ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL PARA A PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL (AIPPI); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL (OMPI).
	Novas discussões sobre os direitos autorais.	É necessário refletir e mapear desde já potenciais conflitos e dúvidas que nascerão ao se pensar na relação “impressora 3D e direitos autorais”, vez que dependendo da forma como alguns conceitos básicos serão entendidos e aplicados, o desenvolvimento dessa tecnologia poderá ser influenciado.	WIDMER, M., 2016; RAJAN, V. 2016; LEMLEY, 2015; WEINBERG, 2013; HANNA, 2011; OSBORN, 2014; BARBOSA, 2011; ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL PARA A PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL (AIPPI); ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL (OMPI).

APÊNDICE B – RESUMO DO PERFIL DOS ENTREVISTADOS NA PESQUISA

Sequência	Perfil completo dos entrevistados
1	<i>Diretor e professor de uma Instituição de Ensino Superior Pública – UFF Professor de Conformação Mecânica e tratamentos termomecânicos. Atua como empresário em uma empresa privada de tecnologia e operações. Possui alto conhecimento em MA, mas não trabalha diretamente com a tecnologia. Como empresário atua na área de manufatura entre 11 a 15 anos e como professor na área de Cadeia de Suprimentos e manufatura entre 11 a 15 anos.</i>
2	<i>Diretor de uma empresa privada na área de consultoria em Cadeia de Suprimentos. Autor de livros sobre Cadeia de Suprimentos. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Sua experiência profissional na área de Cadeia de Suprimentos está acima de 21 anos e na área de manufatura entre 11 a 15 anos. Como professor universitário leciona Cadeia de Suprimentos há mais de 21 anos.</i>
3**	<i>Diretor e CEO de uma empresa privada. Possui médio conhecimento em MA, não trabalhando com a tecnologia. Sua experiência empresarial na área de Cadeia de Suprimentos está entre 16 e 20 anos.</i>
4*	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Mista. Atua na área de SCM e Logística. Possui médio conhecimento em Manufatura Aditiva e não trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM há mais de 21 anos e manufatura entre 6 a 10 anos. Como empresário trabalha com SCM há mais de 21 anos.</i>
5	<i>Ocupa cargo de analista e consultor Lean Manufacturing de 1 a 5 anos e de armazenagem há mais de 21 anos e também é professor universitário, lecionando Cadeia de Suprimentos há mais de 21 anos. Possui conhecimento médio e não trabalha com MA.</i>
6	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Pública. Leciona na área de Manufatura. Possui médio conhecimento em Manufatura Aditiva e não trabalha com a tecnologia. Possui experiência empresarial nas áreas de manufatura há mais de 21 anos. Atua como docente em SCM e manufatura entre 11 a 15 anos.</i>
7	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Pública. Leciona biomateriais. Possui alto conhecimento em Manufatura Aditiva e trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 1 a 5 anos.</i>
8	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Mista nos EUA. Autor de livros sobre Cadeia de Suprimentos e gestão da produção. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Sua experiência acadêmica na área de Cadeia de Suprimentos e na área de manufatura está acima de 21 anos.</i>
9	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Pública – USP. Atua na área de pesquisa. Possui alto conhecimento em Manufatura Aditiva, mas não trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura há mais de 21 anos.</i>
10	<i>Professor Mestre, em uma Instituição de Ensino Superior Privada. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Sua experiência acadêmica com manufatura está entre 6 a 10 anos.</i>
11	<i>Diretor de uma Instituição de Ensino Paraestatal. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha diretamente com a tecnologia, mas possui em sua empresa. Atua nas áreas de Cadeia de Suprimentos e manufatura entre 16 a 20 anos.</i>
12	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Pública. Atua na área de pesquisa e extensão na UFABC. Possui alto conhecimento em Manufatura Aditiva e trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 1 a 5 anos e na área de manufatura entre 11 a 15 anos.</i>
13	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Mista. Atua na área de SCM e Logística. Possui médio conhecimento em Manufatura Aditiva e não trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 11 a 15.</i>
14	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Privada. Atua na área de</i>

	<i>pesquisa e prototipagem. Possui alto conhecimento em Manufatura Aditiva e trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 6 a 10 anos e na área de manufatura entre 6 a 10 anos. Como empresário atua na SCM entre 6 a 10 anos.</i>
15	<i>Diretor de uma empresa privada que atua na área de engenharia e manufatura. Doutor pelo Instituto de Tecnologia Aeronáutica – ITA. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Sua experiência em Cadeias de Suprimentos está entre 6 a 10 anos, assim como em manufatura. Como professor acadêmico de Cadeia de Suprimentos e manufatura atua entre 6 a 10 anos.</i>
16*	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Privada. Atua na área de SCM e Logística. Possui médio conhecimento em Manufatura Aditiva e não trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 6 a 10 anos. Como empresário trabalha com SCM e manufatura há mais de 21 anos.</i>
17**	<i>Diretor de uma empresa privada que atua na área de gestão de projetos. Doutor pelo Instituto de Tecnologia Aeronáutica – ITA. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Sua experiência em Cadeias de Suprimentos está entre 16 a 20 anos, assim como em manufatura. Como professor acadêmico de Cadeia de Suprimentos e manufatura atua entre 16 a 20 anos.</i>
18	<i>É diretor de uma empresa privada de software para sistemas logísticos. Doutor pelo Instituto de Tecnologia Aeronáutica – ITA. Possui alto conhecimento em MA e trabalha diretamente com essa tecnologia. Como profissional privado atua na área de Cadeia de Suprimentos e manufatura há mais de 21 anos. Como professor do ITA atua entre 6 a 10 anos.</i>
19**	<i>Diretor de uma Instituição de Ensino Superior privada. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha diretamente com a tecnologia, mas possui em sua empresa. Atua nas áreas de Cadeia de Suprimentos e manufatura entre 1 a 5 anos.</i>
20	<i>Diretor de uma Instituição de ensino privada e consultor empresarial. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e manufatura há mais de 21 anos e na área acadêmica como professor pelo mesmo período.</i>
21	<i>Diretor de uma empresa privada de consultoria em arquitetura. Possui alto conhecimento em MA e trabalha com essa tecnologia. Como empresário atua como consultor de Cadeia de Suprimentos há mais de 21 anos e na área de manufatura entre 16 e 20 anos. Como pesquisador e professor acadêmico de manufatura entre 6 a 10 anos.</i>
22	<i>Professor Doutor, em uma Instituição de Ensino Superior Privada. Atua como consultor Lean Manufacturing entre 6 a 10 anos. Possui médio conhecimento em Manufatura Aditiva e não trabalha com a tecnologia. Atua como docente nas áreas de SCM e manufatura entre 11 a 15.</i>
23	<i>Supervisor em uma empresa privada, onde atua com processo de modelagem virtual. Possui alto conhecimento em MA e trabalha com a tecnologia. Estuda manufatura entre 6 a 10 anos e trabalha com MA entre 1 a 5 anos.</i>
24	<i>Atua como gerente de setor em uma empresa de SCM. Possui médio conhecimento de MA e não trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos entre 16 a 20 anos e na área de manufatura entre 11 a 15 anos, bem como estuda essas áreas pelo mesmo período de tempo.</i>
25	<i>Atua como gerente de setor em uma empresa privada de projetos logísticos. Possui alto conhecimento de MA, mas não trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e de manufatura atua entre 11 a 15 anos.</i>
26**	<i>Diretor de uma empresa privada de bens de capital. Possui alto conhecimento em MA e atua na área de Cadeia de Suprimentos entre 1 a 5 anos e na área de manufatura entre 6 a 10 anos.</i>
27*	<i>Atua como gerente de setor em uma indústria de transformação. Possui médio conhecimento de MA e não trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de</i>

	<i>Suprimentos ente 16 a 20 anos e na área de manufatura há mais de 21 anos. Estuda sobre SCM e Manufatura entre 6 a 10 anos.</i>
28	<i>Diretor de uma Instituição de ensino e treinamento privada. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e manufatura há mais de 21 anos.</i>
29	<i>Supervisor em uma empresa privada, onde atua com projetos de inovação. Possui médio conhecimento em MA e não trabalha com a tecnologia. Estuda e trabalha manufatura e SCM entre 6 a 10 anos.</i>
30	<i>Ocupa cargo de analista de planejamento e controle de produção dentro de uma grande empresa privada. Possui um conhecimento considerado alto em Manufatura Aditiva (MA) e trabalha com essa tecnologia. Seu conhecimento em Cadeia de Suprimentos e manufatura está entre 6 a 10 anos.</i>
31	<i>Atua como gerente de setor em uma empresa privada de engenharia de aplicação. Possui alto conhecimento de MA e trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e de manufatura há mais de 21 anos.</i>
32**	<i>Atua como gerente de setor em uma empresa privada de SCM e manufatura avançada. Possui alto conhecimento de MA, mas não trabalha diretamente com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e de manufatura há mais de 21 anos.</i>
33	<i>Ocupa o cargo de analista e consultor, dando apoio à gestão de pequenos negócios empresariais. Possui conhecimento médio de Manufatura Aditiva (MA) e trabalha de 11 a 15 anos com consultorias em Cadeias de Suprimentos e manufatura.</i>
34	<i>Ocupa cargo de analista e atua como consultor em Lean Manufacturing. Possui conhecimento médio em MA e não trabalha com essa tecnologia. Sua experiência com Cadeia de Suprimentos e manufatura está entre 6 a 10 anos.</i>
35*	<i>Atua como gerente de setor em uma empresa privada de Logística e SCM. Possui alto conhecimento de MA e trabalha com a tecnologia. Atua na área de Cadeia de Suprimentos e de manufatura entre 1 a 5 anos.</i>
36	<i>Diretor de uma empresa privada de consultoria em manufatura aditiva. Possui alto conhecimento em MA e atua como empresário na área de Cadeia de Suprimentos e manufatura entre 11 a 15 anos.</i>
37	<i>Ocupa o cargo de analista e também é professor de Manufatura Aditiva e processos de fabricação avançados. Possui alto conhecimento com MA e atua entre 6 a 10 anos na área de processos de fabricação.</i>

* Participantes que realizaram apenas a primeira rodada da pesquisa

** Participantes que realizaram apenas até a segunda rodada da pesquisa

APÊNDICE C – RESULTADO DO CVC DE CADA CONSTRUTO

Dimensão	S	CONSTRUTOS VÁLIDADOS POR ESPECIALISTAS	CVC Clareza	CVC Relevância
Consumidor Final	1	A impressora 3D se tornará tão comum quanto uma impressora de tinta.	0,88	0,84
	2	Custo mais acessível na compra de impressoras 3D e industriais para o consumidor final.	0,88	0,88
	3	Redução das vendas no comércio com a popularização da impressão 3D.	0,92	0,92
	4	Oferta de produtos mais baratos ao consumidor final	0,92	0,88
Customização e Flexibilidade	5	Redução de ferramental na linha de produção.	0,96	0,92
	6	Melhoria nos processos para fabricação de muitos produtos industriais.	0,96	0,96
	7	Aumento na oferta de mix de produtos.	0,96	0,96
	8	Flexibilidade no volume de produção.	0,96	0,92
	9	Redução de desperdício de matéria prima.	0,92	0,88
	10	Agilidade no atendimento a necessidade do cliente.	0,92	0,84
Custos Logísticos	11	Redução no preço de compra de impressoras 3D industriais.	0,96	0,88
	12	Redução do preço final de produtos fabricados por manufatura aditiva.	0,88	0,88
	13	Redução nos custos de armazenagem de peças sobressalentes no almoxarifado.	0,96	0,92
	14	Redução nos custos de estoques de produtos acabados.	0,88	0,84
SCM	15	Redução no volume de mercadorias transportadas.	0,92	0,88
	16	Deslocamento da produção de alguns produtos para próximo do cliente final.	0,92	0,88
	17	Simplificação da Cadeia de Suprimentos.	0,92	0,96
	18	Redução de <i>Lead Time</i> de entrega.	0,92	0,96
	19	Redução no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes.	0,92	0,92
	20	Impacto no lucro das transportadoras.	0,96	0,92
	21	Novas estratégias e um novo modelo para Cadeia de Suprimentos.	0,96	0,96
	22	Redução no valor das mercadorias impressas em 3D.	0,92	0,88
Novos Negócios	23	Surgimentos de novos negócios envolvendo impressão 3D.	1,00	0,96
	24	Falta de mão de obra capacitada na área.	0,96	0,92
	25	Benefícios na construção civil.	0,92	0,84
	26	Uso da impressão 3D para produção de peças obsoletas, não mais fabricadas pelas indústrias.	0,92	0,92
	27	Benefícios na medicina e na odontologia.	1,00	1,00
Inovação	28	Desenvolvimento de novas matérias primas e novos produtos.	1,00	0,92
	29	Desenvolvimento de peças mais leves e eficientes.	1,00	0,96
	30	Melhoria na rastreabilidade de produtos.	1,00	0,96
Patentes	31	Aumento no número de processos judiciais.	0,96	0,84
	32	Aumento do número de registros de patentes.	0,96	0,88
	33	Novas discussões sobre os direitos autorais.	1,00	0,96

CVC médio	0,94	0,91
CVC médio de toda planilha	0,94	0,91
Coefficiente de Variação - CV	9%	11%
Erro padrão (Pei)	0,03	0,04
Desvio padrão	0,19	0,22
Variância da amostra	0,04	0,05
Nível de confiança(95,0%)	0,07	0,08