

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

PEDRO CUNHA BUENO

Impactos da Implementação da Manufatura Aditiva na Gestão da Cadeia de
Suprimentos Sob a Perspectiva do Setor Automobilístico

São Carlos

2022

PEDRO CUNHA BUENO

Impactos da Implementação da Manufatura Aditiva na Gestão da Cadeia de
Suprimentos Sob a Perspectiva do Setor Automobilístico

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia de Produção da Escola
de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Assoc. Eraldo
Janonne da Silva

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

B928 Bueno, Pedro Cunha
 i Impactos da implementação da Manufatura Aditiva
 na Gestão da Cadeia de Suprimentos sob a perspectiva do
 setor automobilístico / Pedro Cunha Bueno; orientador
 Eraldo Janonne da Silva. São Carlos, 2022.

 Monografia (Graduação em Engenharia de
 Produção) -- Escola de Engenharia de São Carlos da
 Universidade de São Paulo, 2022.

 1. Additive Manufacturing. 2. Automotive Supply
 Chain. 3. Supply Chain Management. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Pedro Cunha Bueno
Título do TCC: Impactos da Implementação da Manufatura Aditiva na Gestão da Cadeia de Suprimentos Sob a Perspectiva do Setor Automobilístico
Data de defesa: 12/07/2022

Comissão Julgadora	Resultado
Professor Associado Eraldo Jannone da Silva (orientador)	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	
Professor Doutor Marcel Andreotti Musetti	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	
Pesquisadora Júlia Fornaziero de Almeida	Aprovado
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca: **Professor Associado Eraldo Jannone da Silva**

AGRADECIMENTOS

A minha família, por todo apoio fornecido e ensinamentos passados ao longo da minha vida.

A família Chicarelli Alcântara, por ter fornecido suporte durante a minha estadia em São Carlos, principalmente no início da jornada universitária.

As repúblicas Espírito de Porco e Santa Casa, minhas famílias universitárias, por terem promovido amizades, experiências e memórias que jamais serão esquecidas.

Ao meu orientador Eraldo Jannone, pelos ensinamentos passados e suporte fornecido durante a minha jornada acadêmica, que vão além da orientação desse trabalho.

Aos meus amigos do LAPRAS, que sempre estavam dispostos a ajudar.

RESUMO

BUENO, P. C. **Impactos da Implementação da Manufatura Aditiva na Gestão da Cadeia de Suprimentos Sob a Perspectiva do Setor Automobilístico**. 2022. 56 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

A indústria automobilística desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade, principalmente por sua contribuição no desenvolvimento tecnológico e introdução em escala real do conceito de produção em massa. Essa indústria, desde o princípio nunca parou de crescer e cada vez mais *players* foram surgindo no mercado, tornando-o um ambiente de negócio extremamente competitivo. Visando obter alguma vantagem competitiva sobre os concorrentes, seja ela relacionada a custos, qualidade ou tecnologia, os *players* buscam por fornecedores ao redor do mundo, ato que só é possível graças ao processo globalização que tornou os países mais conectados. Essas conexões criadas têm as suas vantagens, porém implicam um grande desafio, que é justamente na gestão da cadeia de suprimentos devido ao aumento do grau de complexidade da cadeia. A partir desse contexto que surgiu a motivação para esse trabalho, de analisar quais seriam os possíveis impactos da implementação da Manufatura Aditiva (MA), tecnologia inovadora da indústria 4.0, na cadeia de suprimentos automotiva. Através da execução de uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), foram criados critérios para escolher 21 artigos disponíveis na literatura sobre o tema. Como principal resultado, este trabalho apresenta discussões, organizadas de acordo com as categorias do Modelo de Referências de Operações da Cadeia de Suprimentos (SCOR), sobre como a adoção da Manufatura Aditiva pode ser benéfica, com o potencial de reduzir custos de logística, aumentar a flexibilidade das montadoras, reduzir o desperdício de matéria prima, reduzir etapas de montagem do processo e reduzir os custos relacionados à estocagem de peças.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Cadeia de Suprimentos Automobilística. Gestão da Cadeia de Suprimentos

ABSTRACT

BUENO, C.P. Additive Manufacturing Implementation Impacts on the Supply Chain Management under the Automotive Sector Perspective. 2016. 56 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

The automotive industry plays a key role in the development of the societies, mainly due to its contribution to the technological development and introduction to the large-scale concept of mass production. This industry has never stopped growing since it was born and even more players appear on the market, making it an extremely competitive business environment. In order to get any competitive advantage over its competitors, which could be a cost, quality or technology advantage, the players look around the world. That is possible thanks to the globalization process, to partner with suppliers that have a certain benefit. These partnerships bring good advantages to the players, however it also brings great challenges, being the biggest one, the increasing complexity of the supply chain, and therefore on the supply chain management. From this context, the objective of this research was to analyze the possible impacts of Additive Manufacturing (AM) implementation, an innovative technology from Industry 4.0, into the automotive supply chain. Based on a Systematic Literature Review (SLR) approach, criteria were created and 21 papers were selected. The main result from this work was the discussion following the topics of the Supply Chains Operations Reference (SCOR) about how the adoption of the Additive Manufacturing would be beneficial. With the potential to bring production costs down, increase the companies' flexibility, reduce the raw material waste, eliminate assembly processes and decrease costs related to the storage of parts in warehouses.

Keywords: Additive Manufacturing. Automotive Supply Chain. Supply Chain Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Processos de manufatura.....	18
Figura 2: Processo genérico de Manufatura Aditiva.	20
Figura 3: Qualidade final com base na espessura das camadas.	21
Figura 4: Custo versus Complexidade sob a ótica da MA.....	22
Figura 5: Componente de motor aeronáutico da GE impresso tridimensionalmente...	23
Figura 6: Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos.....	27
Figura 7: Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática.	31
Figura 8: Fases principais da Revisão Bibliográfica Sistemática executada	35
Figura 9: Ano de publicação dos artigos.....	38
Figura 10: Exemplo de componente que pode ser fabricado em uma peça única.	40
Figura 11: Modelo de Cadeia de Suprimentos Tradicional e com AM.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tendências para a Manufatura Aditiva.	24
Quadro 2: Artigos selecionados para a análise final.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM	-	<i>Additive Manufacturing</i>
MA	-	Manufatura Aditiva
MS	-	Manufatura Subtrativa
RBS	-	Revisão Bibliográfica Sistemática
OEM	-	<i>Original Equipment Manufacture</i>
SCOR	-	<i>Supply Chain Operations Reference</i>
CAD	-	<i>Computer Aided Design</i>
STL	-	<i>Standard Triangle Language</i>
GCS	-	Gestão da Cadeia de Suprimentos

SUMÁRIO

1. Introdução	15
1.1 Contextualização.....	15
1.2 Objetivo.....	16
2. Revisão Bibliográfica.....	17
2.1 Manufatura Aditiva (MA)	17
2.1.1 Introdução.....	17
2.1.2 Princípio de Funcionamento da Manufatura Aditiva.....	19
2.1.3 Benefícios da Manufatura Aditiva.....	21
2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos.....	25
2.2.1 Definição	25
2.2.2 Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos	26
2.2.3 Cadeia de Suprimentos Automotiva	28
3. Metodologia	30
3.1 Coleta de dados	31
3.1.1 Definição das palavras-chave	31
3.1.2 Bases de dados e <i>strings</i> de busca	32
3.1.3 Filtros de seleção	32
3.2 Análise dos Dados	34
3.2.1 Buscas e escolha dos artigos	34
4. Resultados e Discussões	36
4.1 Análise bibliométrica	36
4.2 Análise qualitativa	39
4.2.1 Planejamento	39
4.2.2 Abastecer	39
4.2.3 Fazer.....	41

4.2.4	Entregar	42
4.2.5	Retornar	43
5.	Conclusão.....	46
	Referências	48

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A Cadeia de Suprimentos da Indústria Automotiva apresenta elevada complexidade devido à quantidade e variedade de partes e componentes, necessários na manufatura dos automóveis, que são fabricados em diferentes localidades do mundo. Isso envolve, por sua vez, uma extensa lista de fornecedores para suprirem a operação e uma intensa atividade de Gestão da Cadeia de Suprimentos.

Para ilustrar esse fato, montadoras automotivas dependem de Fabricantes de Equipamento Original (do inglês, *Original Equipment Manufacturer (OEM)*) que, por sua vez, dependem de outros milhares de fornecedores espalhados pelo globo. Como resultado disso, a matéria prima tem que percorrer uma longa jornada até que seja processada e então assuma a suas características finais para exercer a função pela qual foi desenvolvida.

Turner e Willians (2005) apontam como desafios da cadeia de suprimento automobilista: A complexidade do produto final, visto que cada modelo utiliza componentes específicos e com especificações distintas; a complexidade logística da operação, uma vez que é necessário manter depósitos espalhados pelo mundo com componentes novos, peças de reposição e peças de manutenção prontas para abastecer as demandas locais; o comportamento do cliente, que envolve a disposição do consumidor em esperar um certo tempo de entrega do produto desde a realização do pedido; e a obsolescência de estoque, que implica em um alto custo de capital para ser mantido por longos períodos.

Nesse cenário, qualquer imprevisto nessa complexa e longa cadeia de suprimentos pode repercutir em consequências financeiras para as companhias automotivas (SIMCHILEVI et al., 2015). Portanto, para minimizar o risco de problemas com a cadeia e simplificar a sua gestão, uma solução seria o encurtamento da cadeia, apresentando menos espaço para turbulências. Com isso, a fim de tornar a cadeia de suprimentos mais compacta mais simples de ser gerida, a Manufatura Aditiva (MA) apresenta um potencial para exercer um importante papel nesse complicado desafio (LIM et al., 2016).

1.2 Objetivo

O propósito desse trabalho é analisar os possíveis impactos e consequências da crescente implementação da Manufatura Aditiva na Gestão da Cadeia de Suprimentos com foco no setor Automobilístico através de uma metodologia de Revisão Bibliográfica Sistemática.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com base nas obras disponíveis na literatura que foram consultadas para a realização desse trabalho, nesse capítulo os temas Manufatura Aditiva e Gestão da Cadeia de Suprimentos serão apresentados e discutidos de maneira mais aprofundada.

2.1 Manufatura Aditiva (MA)

Nessa seção do trabalho será introduzido o conceito de Manufatura Aditiva contanto um pouco da história dessa tecnologia, em seguida será apresentado o princípio de funcionamento da MA e então benefícios proporcionados pela MA.

2.1.1 Introdução

Em um processo de produção, o processo de manufatura é a etapa diretamente responsável por transformar a matéria prima, dando-a dimensões e geometria projetadas, em um determinado objeto que tenha utilidade. Essa etapa pode ser categorizada em três grandes grupos. O primeiro deles é o grupo que engloba os processos de Manufatura Subtrativa (MS), processos que utilizam técnicas que removem material de um substrato até que se atinja a geometria final desejada do componente (exemplos: fresamento, torneamento, furação, polimento). Dessa maneira, a massa final da peça é inferior massa inicial da mesma. O segundo grupo, inclui os processos que alteram a geometria da matéria prima, através da aplicação de uma força específica ou adicionando a matéria prima fundida em moldes. Nesse caso, as massas inicial e final são equivalentes. Extrusão, forjamento e laminação são exemplos que se enquadram nessa categoria de processo. O terceiro e último grupo engloba os processos em que material é adicionado a um substrato até que se obtenha a geometria final do objeto projetado. Desse modo, a massa final do objeto será maior do que sua massa quando a deposição teve início e é nesse grupo que a Manufatura Aditiva (MA) se enquadra (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015; KAUSHISH, 2010; SINGH, 2006).

Figura 1: Processos de manufatura.



Fonte: imagem ilustrativa retirada do Google Images. Da esquerda para a direita: fresamento, forjamento e *Fused Deposition Modeling*.

Inicialmente chamada de *rapid prototyping* e popularmente conhecida como impressão 3D a Manufatura Aditiva (MA) é o termo que define o processo de fabricação em que uma peça é produzida através da adição de material em camadas que são sobrepostas; cada camada tem uma fina espessura e geometria de uma seção transversal do objeto final. Portanto, o princípio de funcionamento desse processo se resume em produzir um componente diretamente de um modelo digital tridimensional gerado com a ajuda de um programa de Desenho Assistido por Computador (do inglês *Computer-Aided Design* (CAD)) (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015; THOMPSON et al., 2016).

No começo, a tecnologia de Manufatura Aditiva era geralmente utilizada para se criar rapidamente e de maneira simples, protótipos apenas com a finalidade de validar o *design*, geometria e ergonomia de uma nova família de produtos. Atualmente, com a evolução dessa tecnologia, partes impressas tridimensionalmente também podem exercer função mecânica, ou seja, elas podem ser funcionais e instaladas em mecanismos e máquinas (TOFAIL et al., 2018).

As primeiras peças impressas tridimensionalmente utilizavam como matéria prima materiais poliméricos, como ceras e resinas. Em seguida, com a evolução desse processo, passou se a utilizar também plásticos, metais e cerâmicas (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015). Mais recentemente, tem sido desenvolvidas aplicações da MA que utilizam materiais compostos, materiais eletrônicos, biomateriais e materiais digitais e inteligentes (do inglês *digital and smart materials*) como matéria prima (LEE; AN; CHUA, 2017).

Para fins de conhecimento, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em concordância com a *American Society for Testing Materials* (ASTM), são definidas sete categorias para o processo de Manufatura Aditiva, sendo elas: Jato de Aglutinante (*Binder Jetting* em inglês), Deposição por Energia Direcionada (*Directed Energy*

Deposition em inglês), Extrusão de Material (*Material Extrusion* em inglês), Fusão em Leito de Pó (*Powder Bed Fusion* em inglês), Laminação de Folha (*Sheet Lamination* em inglês) e Fotopolimerização em Cuba (*Vat Photopolymerization* em inglês) (ASTM, 2015; ABNT, 2018).

A MA tem evoluído extraordinariamente nas últimas 3 décadas, começando nos anos 80 como sendo uma tecnologia não comercial até atingir um mercado que valia mais de 4 bilhões de dólares em 2014 (THOMPSON et al., 2016). E em 2019, segundo Wohlers e Caffrey (2020) e artigo publicado no site da Forbes (MCCUE, 2020), a indústria da MA cresceu 21,2% no mundo todo e chegou ao valor de 11,867 bilhões de dólares.

2.1.2 Princípio de Funcionamento da Manufatura Aditiva

O fluxo de trabalho de um processo genérico de MA é composto por 8 etapas. A primeira etapa envolve a criação de um modelo tridimensional digital do objeto de interesse com a ajuda de um *software* CAD. Em seguida, esse objeto no formato CAD deve ser convertido para o formato STL (do inglês *Standart Triangle Language*), o qual facilita na tarefa de processamento do computador no momento de calcular o fatiamento do modelo, para obter as instruções parciais da geometria das fatias ou finas seções do objeto final. Na sequência, o arquivo STL é transferido para a máquina que realizará a deposição (comumente chamada de Impressora 3D). Então, para finalizar as instruções de deposição, um conjunto de parâmetros devem ser especificados, tais como velocidade de avanço, taxa de deposição e trajetória de deposição. E, esse conjunto de instruções devem ser carregados na máquina de deposição. Assim, finalmente a processo de deposição pode ser iniciado. Ao final do processo, o objeto deve ser removido da Impressora 3D para passar por etapas de pós-processamento, como lixamento e remoção de estruturas de suporte. A etapa final é a aplicação ou uso da peça finalizada (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015; JIN et al., 2020).

A Figura 2 ilustra as 8 etapas previamente explicadas de um processo genérico de Manufatura Aditiva

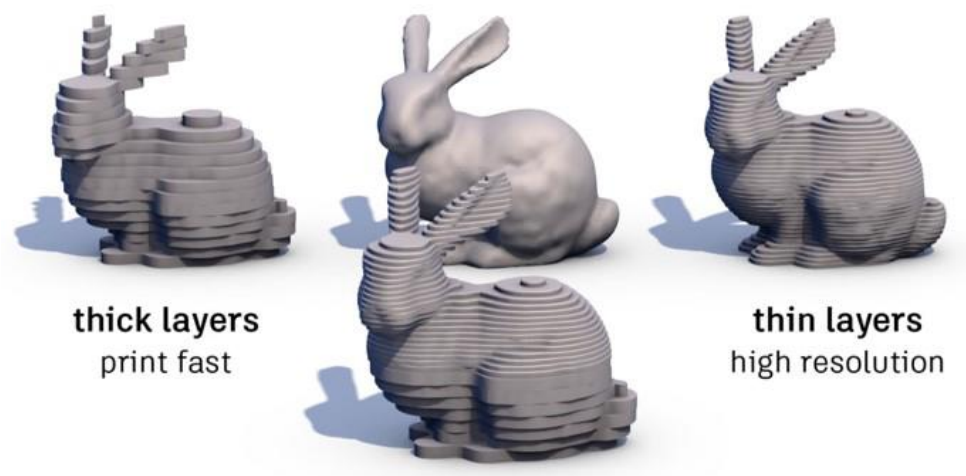
Figura 2: Processo genérico de Manufatura Aditiva.



Fonte: Adaptado/ traduzido de Gibson et al. (2015).

Vale notar, que a definição da espessura das camadas influencia diretamente na qualidade final do objeto depositado e no tempo de deposição. Assim, quanto menor for a espessura, maior a qualidade (resolução) final da peça e maior o tempo de deposição e vice-versa (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015). A Figura 3 ilustra esse efeito.

Figura 3: Qualidade final com base na espessura das camadas.



Fonte: imagem ilustrativa retirada da Internet de MAKER HUB

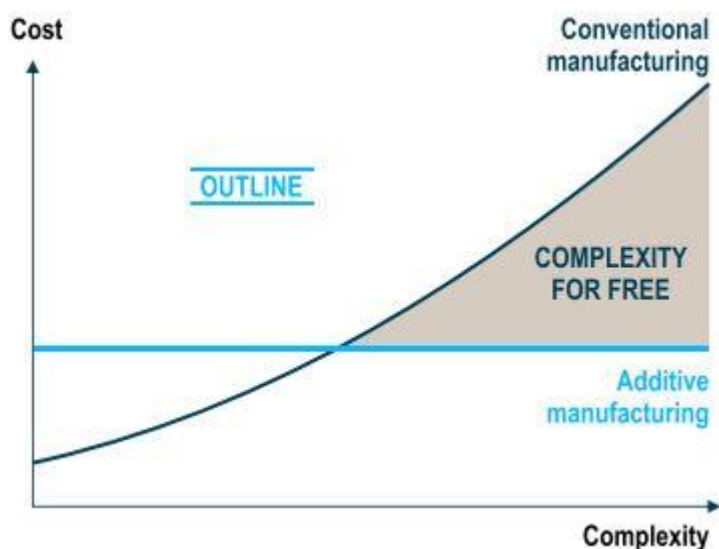
2.1.3 Benefícios da Manufatura Aditiva

O princípio de funcionamento da MA eleva o grau de liberdade geométrica do processo de fabricação a patamares inéditos. Com isso, pode-se produzir componentes com alta complexidade de forma e precisão, os quais não seriam possíveis de serem fabricados por métodos tradicionais (TOFAIL et al., 2018).

Duda e Raghavan (2016) usam os termos liberdade de design (do inglês *freedom of design*) e complexidade de graça (do inglês *complexity for free*) para descrever a capacidade da Manufatura Aditiva de depositar objetos geometricamente complexos e pela ideia de que peças mais complexas fabricadas pela MA não aumentam significativamente o custo do processo como um todo, a qual, em algumas situações pode até reduzir o custo de fabricação por conta da redução do desperdício de matéria-prima. Berger (2013) elaborou o seguinte gráfico ilustrado na Figura 4 demonstrando a relação entre o custo de fabricação e complexidade geométrica da peça sob a perspectiva da manufatura aditiva.

Componentes com baixa complexidade geométrica, representados pela região esquerda inferior do gráfico, ainda apresentam vantagem econômica de serem fabricados por processos convencionais. Já, na região direita superior, acima da linha de custo da MA, que engloba os componentes com geometrias mais sofisticadas, pode-se notar que surge uma zona onde teoricamente seria economicamente vantajoso utilizar a MA para fabricar tal componente.

Figura 4: Custo versus Complexidade sob a ótica da MA.



Fonte: (BERGER, 2013a)

Seguindo o contexto, outra importante qualidade da MA que pode ser observada, é, com a MA, linhas de produção podem ser encurtadas visto que menos etapas são necessárias no processo de produção. Ainda, como o tempo de *setup* das máquinas para a fabricação de diferentes componentes é significativamente reduzido na MA, passa-se a ser possível produzir peças com alto grau de customização em massa (ATTARAN, 2017).

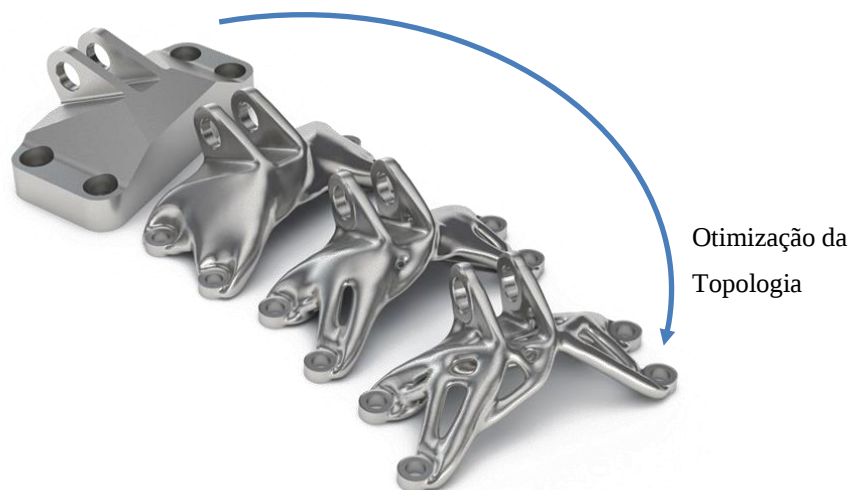
Também, Duda e Raghavan (2016) escreveram que componentes produzidos utilizando MA podem ser mais leves por conta de terem sua topologia otimizada e, ainda, processos de montagem podem ser significativamente reduzidos devido ao fato de que com a MA, um conjunto completo composto de vários componentes, pode ser produzido em apenas uma peça única.

Para ilustrar essas qualidade recém citadas, um trabalho da Gebisa e Lemu (2017) sobre um desafio lançado pela General Electric (GE), chamado *GE Jet Engine Bracket Challenge*, que envolvia otimização de topologia de uma peça que pertence a um motor de reação aeronáutico, conseguiu desenvolver esse componente com uma redução de 65% do seu peso comparado ao modelo original, além de reduções na quantidade de matéria prima necessária e custo energético do processo se comparado às técnicas de manufatura convencionais.

A Figura 5 ilustra o processo de otimização desse componente e assim é possível comparar a evolução da geometria ao longo do estudo de otimização topológica. No canto

esquerdo superior pode-se observar a geometria original do componente e no canto direito inferior pode-se ver a geometria final proposta pelo projeto.

Figura 5: Componente de motor aeronáutico da GE impresso tridimensionalmente.



Fonte: (GEBISA; LEMU, 2017).

Algumas das barreiras atuais da MA estão relacionadas ao custo da matéria prima, disponibilidade da matéria prima, repetibilidade, propriedades mecânicas e escalabilidade e a quantidade de tempo utilizado pelo processo por conta da baixa velocidade de avanço (THOMAS-SEALE et al., 2018). No entanto, Berger (2013) realizou algumas previsões em sua obra sobre tendencias futuras para a Manufatura Aditiva em termos de velocidade do processo e custos que estão apresentados na Quadro 1.

Quadro 1: Tendências para a Manufatura Aditiva.

<i>Parâmetro</i>	<i>Tendência</i>	<i>Implicação</i>
Velocidade de fabricação		❖ Utilização de 2 <i>Lasers</i> para aumentar a quantidade de energia no ponto focal ❖ Otimização da estrutura através de diferentes espessuras de camadas ❖ Otimização da taxa de deposição (exemplo: utilizando múltiplos bicos de adição) ❖ Melhoria na estabilidade do processo
Preço das máquinas		❖ Preço das máquinas tem se tornado acessível ❖ A incrementação das máquinas com mais sensores, bicos e câmaras podem aumentar o preço, no entanto a escalabilidade de produção pode compensar
Preço da matéria prima em pó		❖ Preço do pó não reflete seu preço de custo ❖ Com o aumento do volume comercializado, haverá mais concorrência ❖ A demanda de pó metálico é esperada crescer de 900t para 9,000t até 2023
Custo de mão de obra		❖ Sistemas mais confiáveis demandarão menos monitoramento ❖ Muitos processos serão automatizados
Volume da câmara		❖ Ainda não é o limitante do processo ❖ O volume será incrementado ao passo que o processo se torna mais estável

Fonte: Adaptado/traduzido de Berger (2013)

Com a evolução e aprimoramento de suas capacidades, a MA vem se tornando cada vez mais atrativa ao passo que está virando uma tecnologia competitiva e viável aos processos de manufatura tradicionais. Desse modo, empresas irão cada vez mais estudar e investir nessa tecnologia, que por sua vez, estará cada vez mais presente no futuro.

2.2 Gestão da Cadeia de Suprimentos

Inicialmente, nessa seção, o conceito de Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) será introduzido. Em seguida, o Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos (do inglês *Supply Chain Operations Reference (SCOR)*) será apresentado e, por último, a GCS sob a perspectiva da manufatura aditiva será discutida.

2.2.1 Definição

O conceito de Gestão da Cadeia de Suprimentos foi introduzido na década de 1960, começou a ganhar mais atenção por volta da década de 1980 e então decolou em 1990 com o aumento significativo no número estudos e publicações sobre o assunto (HUAN; SHEORAN; WAN, 2004).

O termo “cadeia de suprimentos” é mais comum entre os autores, assim será definido primeiro (MENTZER et al., 2001). Uma primeira definição de cadeia de suprimentos proposta por Londe e Masters (1994) sugere uma ideia de um conjunto de companhias que “passam materiais para frente”. Geralmente, mais de uma empresa está envolvida no processo de produção de um produto, assim, cada uma dessas companhias tem que suprir um tipo de produto para o seu consumidor, ou, nesse caso, a empresa sucessora no processo de produção. Nessa visão, produtores de matéria prima, montadoras, revendedoras e transportadoras são todas partes da cadeia de suprimentos.

Stevens (1989) referiu-se ao conceito de cadeia de suprimentos em seu trabalho como sendo o processo de sincronização dos requerimentos dos consumidores com o fluxo de materiais vindo dos fornecedores, de maneira a gerar um equilíbrio entre alta exigência na qualidade do serviço ao cliente, baixo nível de estoque e baixo custo por unidade.

Mentzer et al. (2001) definiram o termo cadeia de suprimentos como um conjunto de três ou mais entidades (organizações ou indivíduos) diretamente envolvidos nas relações *upstream* (com fornecedores) e *downstream* (com os clientes) do fluxo de produtos, serviços, finanças e/ou informações desde a matéria prima até o consumidor final

Christopher (2016) propôs uma definição um pouco mais moderna para o conceito de cadeia de suprimentos, descrevendo-o como uma rede de organizações que interagem entre si por meio de relações *upstream* e *downstream* dentro da cadeia. Cada uma dessas empresas é responsável por agregar um valor específico (forma) para o produto ou serviço consumido pelo usuário final ou cliente.

Já, o conceito de gestão de cadeia de suprimentos engloba o fluxo total de materiais dos fornecedores primários até os usuários finais, e pode ser descrita como uma filosofia integrativa para gerenciar esse fluxo de materiais (COOPER; LAMBERT; PAGH, 1997; JONES; RILEY, 1985).

Monczka et al. (1998) defenderam, em sua obra, que o conceito de gerenciamento da cadeia de suprimentos tem como objetivo primário integrar e gerenciar o suprimento, fluxo e controle dos materiais tendo em perspectiva o sistema completo envolvendo múltiplas funções e múltiplos grupos de fornecedores.

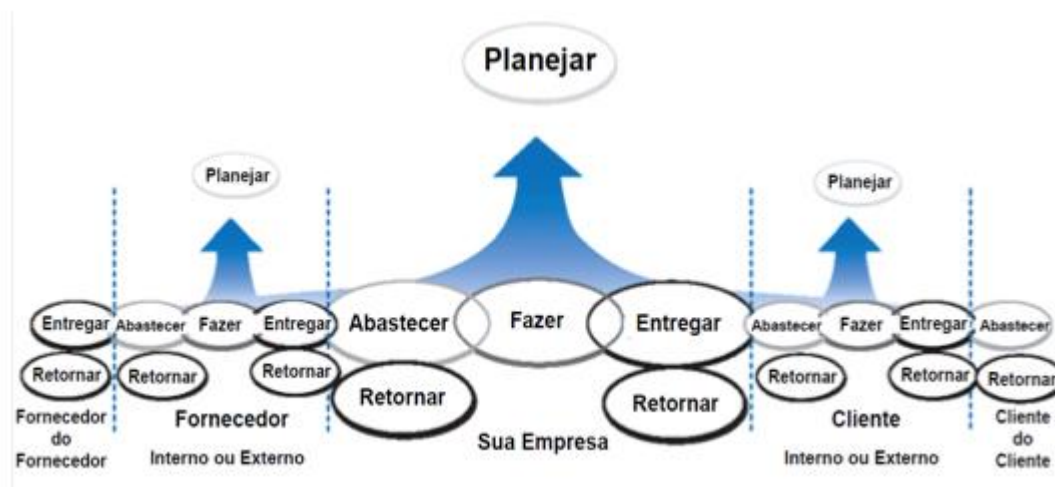
Para otimizar a aplicação de tais conceitos em suas operações e auxiliar no processo de tomada de decisão, companhias adotam ferramentas que servem como uma referência para basear o controle de suas atividades. Dentre as várias opções de ferramentas existentes, o Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos (do inglês *Supply Chain Operations Reference*), desenvolvido pela *Association for Supply Chain Management* (APIS) (anteriormente chamada de *Supply Chain Council*) é o mais promissor (HUAN; SHEORAN; WAN, 2004). Por isso, esse modelo será utilizado para basear e organizar a discussão das implicações da adoção da MA na GCS. Em seguida, o SCOR é apresentado.

2.2.2 Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos

Como citado, o Modelo de Referências de Operações da Cadeia de Suprimentos foi criado pela APICS, anteriormente chamada de SCC, em 1996 com o foco nos processos operacionais sob uma perspectiva de dentro da gestão da cadeia de suprimentos. Esse modelo engloba as operações de interações com os clientes, interações físicas e interações de mercado. Vale notar, que o modelo SCOR não envolve as áreas de vendas e marketing, desenvolvimento de produto, pesquisa e desenvolvimento e alguns elementos do pós-venda e suporte ao cliente. E, ao redor do mundo, grandes e renomadas empresas têm usado o modelo SCOR, tais como General Electric, Intel, Philips, Degussa e o *New York Hospital* (SUPPLY CHAIN COUNCIL OF NORTH AMERICA, 2010; ZHOU et al., 2011)

O modelo SCOR pode ser usado para descrever cadeias de suprimentos a partir da divisão dos processos em 5 categorias: Planejar, Abastecer, Fazer, Entregar e, por último, Retornar. Pode se observar na Figura 6 a esquematização de como as categorias estão organizadas e em seguida, cada uma dessas categorias será introduzida (SUPPLY CHAIN COUNCIL OF NORTH AMERICA, 2010).

Figura 6: Modelo de Referência de Operações da Cadeia de Suprimentos.



Fonte: adaptado de SUPPLY CHAIN COUNCIL OF NORTH AMERICA (2010).

- **Planejar:** É nessa etapa que os dados de operações internas e externas são coletados e analisados a fim de equilibrar a demanda agregada para então servir como um guia para basear as decisões a serem tomadas com relação ao fornecimento de suprimentos, processo de produção e demandas de entrega.
- **Abastecer:** Processo que envolve o relacionamento entre o comprador e o fornecedor, onde há uma ideia de se buscar boas práticas de ambos os lados para que seja estabelecido um relacionamento confiável, sustentável e duradouro.
- **Fazer:** Etapa que envolve todos os processos que efetivamente transformam o material que foi comprado em um produto final de acordo com as especificações definidas seguindo a demanda do mercado.
- **Entregar:** Categoria responsável por gerenciar a logística de escoamento dos produtos, ou seja, essa é a etapa onde o produto final é enviado até os consumidores de acordo com a demanda do mercado. Comumente, gerenciamento de ordens, gerenciamento de transporte e distribuição fazem parte dessa categoria.
- **Retornar:** Categoria que é responsável por algumas tarefas do pós-venda e suporte ao cliente. Como exemplo, parte dessa etapa está no gerenciamento de estoque de peças de reposição.

Cada uma dessas etapas da cadeia de suprimentos abordadas pelo modelo SCOR será posteriormente discutida sob a análise dos efeitos da crescente adoção da Manufatura Aditiva na indústria automotiva. Mas antes, é necessário introduzir um pouco do panorama da cadeia de suprimentos do setor automobilístico, que será abordada na seção a seguir.

2.2.3 Cadeia de Suprimentos Automotiva

A estratégia inicial para a cadeia de suprimentos adotada pelas companhias automobilísticas baseava-se no conceito de produção empurrada, em que o departamento de marketing e vendas faziam estudos e previsões de demanda, que então o time de manufatura tinha que correr para cumprir com essas estimativas. Em seguida, com o crescimento do mundo digital, as automobilísticas começaram a adotar a metodologia “*Just-In-Time*”. Com isso, os fornecedores foram forçados a alocar pesados recursos e investimentos para se adaptarem a esse modelo de negócio que usa a estratégia de produção puxada (TANG; QIAN, 2008).

A Cadeia de Suprimentos Automotiva é caracterizada por sua enorme complexidade devido à quantidade de fornecedores envolvidos no processo de produção. Assim, a responsabilidade de uma empresa automobilística acaba sendo distribuída entre várias outras companhias, Fabricantes Originais de Equipamentos e fornecedores. Dessa forma, as especificações do produto têm que ser compartilhadas e gerenciadas dentro de um grupo de pessoas e organizações (VELOSO; KUMAR, 2002).

Para ilustrar a quantidade de entes envolvidos numa cadeia de suprimentos automotiva, com base na obra de Hugo (2010), companhias automobilísticas compram sublinhas de montagem inteiras, incluindo as de fabricação de portas, *power-trains* e componentes eletrônicos para manter as suas atividades. Dessa forma, os *players* mais importantes na cadeia são os Fabricantes Originais de Equipamento, centros de distribuição, revendedores e os próprios consumidores. Também, por conta do constante desenvolvimento de novos designs, conceitos e tecnologias, os fornecedores sempre estão sob pressão e lidando com uma enorme quantidade de concorrentes para atender os requisitos da indústria (BENKO; MCFARLAN, 2003). Hugo (2010) defende que nenhuma empresa existe e/ou sobrevive no vácuo.

Devido à crescente migração para o mundo virtual, empresas estão cada vez mais adotando esse novo ambiente/meio de trabalho como padrão, onde buscam técnicas para melhorar sua eficiência operacional tais como com o uso de simulações digital e com o uso de

gêmeos digitais (do inglês *Digital Twin*). Nesse contexto o Intercâmbio de Dados do Produto (do inglês *Product Data Exchange (PDX)*) tem se tornado algo com crescente importância nas cadeias de suprimentos por conta desse movimento de digitalização. Modelos digitais dos produtos conseguem não apenas armazenar as características geométricas do produto, mas também são capazes de guardar informações que tornam possível a integração entre o design, processo de manufatura e o marketing do produto (VELOSO; KUMAR, 2002).

Apesar das oportunidades que podem ser exploradas dentro do ambiente virtual o gerenciamento de todas essas informações que são compartilhadas entre um grande número de fornecedores torna a Cadeia de Suprimentos Automotiva bem susceptível a ruídos que podem acontecer em qualquer momento dessa troca de dados e assim impactar no custo da operação como um todo (SIMCHI-LEVI et al., 2015).

Característico do setor automobilístico são as margens bem apertadas em que a operação funciona, assim, as companhias estão sempre em busca de maneiras para otimizar sua eficiência e desenvolver competências que as distinguem de seus competidores a fim de garantir uma vantagem competitiva (HUGO, 2010).

Na obra de Ambe (2010), é defendido que as principais estratégias de gerenciamento da cadeia de suprimentos atualmente baseiam-se no “*lean and agility*”. De acordo com Mangan e Christopher (2005) o termo “*lean*” melhor descreve o modelo de negócios que lida com certo volume, baixa variedade e ambientes previsíveis, já o termo “*agility*” remete a um meio mais imprevisível em que a variedade pode ser necessária, ou seja, a gestão de uma cadeia de suprimentos mais complexa.

Agora que o contexto da Cadeia de Suprimentos Automotiva foi apresentado e alguns desafios foram apontados, na seção a seguir será feita uma discussão sobre como a Manufatura Aditiva poderia gerar impacto na Cadeia de Suprimentos Automotiva.

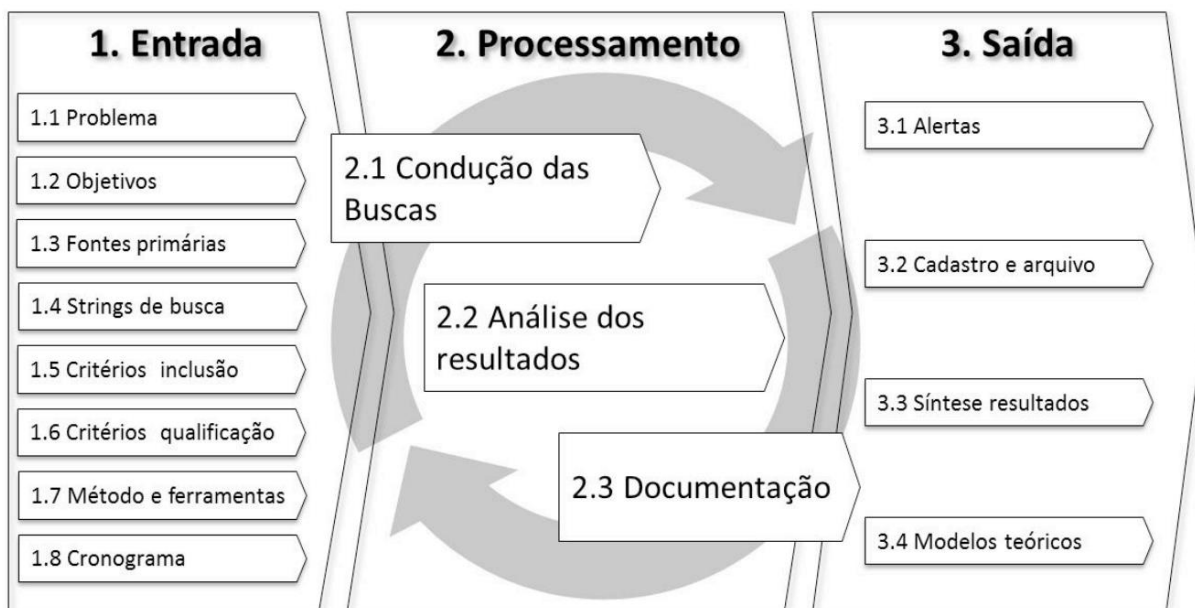
3. METODOLOGIA

No presente trabalho, a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) foi a metodologia escolhida para a sua execução. O objetivo dessa metodologia é identificar, analisar e integrar os resultados de estudos individuais pertinentes e de boa qualidade relacionados ao tema do trabalho em questão (BARNES, 2005). A construção de uma fundamentação teórica sólida com base em fontes de qualidade permite aos pesquisadores aprimorarem as explicações, bem como compreender os problemas e aplicar as soluções mais adequadas (LEVY; ELLIS, 2006).

De acordo com Hart (1998), a revisão bibliográfica é como “o uso de ideias da literatura para justificar uma abordagem específica da temática escolhida, a seleção de métodos e também a demonstração de que a pesquisa em questão contribuiu para a criação de algo novo”. Hart (1998) aponta que, para a revisão da literatura, “qualidade significa amplitude e profundidade adequada, rigor e coerência, clareza e brevidade, e análise eficaz e síntese”.

Okoli (2019) complementa que para uma revisão bibliográfica ser considerada sistemática, ela deve seguir uma abordagem metodológica específica, com procedimentos pré-definidos e explícitos. Em adição a isso, uma abordagem sistemática implica na utilização de uma metodologia iterativa, que segue macro e micro etapas específicas, como ilustra a Figura 7. Essas etapas podem ser repetidas continuamente através de ciclos possibilitando que os objetivos da revisão sejam alcançados (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Figura 7: Etapas da Revisão Bibliográfica Sistemática.



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011)

A metodologia de RBS utilizada nesse trabalho foi uma adaptação da obra de Conforto et al. (2011) que propôs um roteiro (*Roadmap* como é definido em seu trabalho) compilando resultados de outras obras e os conhecimentos e experiências registrados pelos pesquisadores.

Então, para nortear este trabalho e mantê-lo alinhado ao seu objetivo principal, foi definida a seguinte pergunta de pesquisa: “Quais são os possíveis impactos que a adoção da Manufatura Aditiva pode ter no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos sob o contexto do setor Automobilístico?”.

3.1 Coleta de dados

Nessa seção, o objetivo é compilar e sintetizar o processo da RBS de definição de palavras-chave, definição de *strings* de busca e definição dos filtros para a inclusão e qualificação dos artigos.

3.1.1 Definição das palavras-chave

A partir do problema de pesquisa e objetivo principal definidos para esse trabalho, apresentados anteriormente, o próximo passo se baseia na leitura de fontes primárias, ou seja, artigos ou periódicos que tratam de temas relacionados a pesquisa. Assim, foi possível gerar

uma fundamentação teórica e aprofundamento na revisão da literatura de forma não exaustiva, possibilitando estabelecer as seguintes palavras-chave como direcionamento para as buscas:

1. *Additive Manufacturing* (Manufatura Aditiva);
2. *Automotive Supply Chain* (Cadeia de Suprimentos Automotiva);
3. *Supply Chain Management* (Gestão da Cadeia de Suprimentos).

3.1.2 Bases de dados e *strings* de busca

As buscas realizadas para basear o presente trabalho foram feitas nas plataformas *Scopus* e *Web of Science*, por conta de serem bibliotecas completas e renomeadas. Ambas as plataformas permitem que diferentes meios de pesquisa sejam utilizados, que filtros com base em parâmetros bibliográficos sejam aplicados e garantem acesso completo aos materiais disponíveis por meio da conta institucional da USP.

Os termos, “palavras-chave” escolhidos foram organizados para formar uma *string* de busca respeitando a formatação específica para cada base de dados utilizada. Essa estrutura, ou quase um código, formada pelo conjunto das palavras-chave serve como referência para que a base de dados realize a busca dentro de sua biblioteca (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

As *strings* utilizadas, portanto, foram:

1- *Web of Science*:

- *String* de busca: (ALL=(Additive Manufacturing) AND ALL=(Automotive Supply Chain)) OR (ALL=(Additive Manufacturing) AND ALL=(Supply Chain Management))

2- *Scopus*:

- *String* de busca: TITLE-ABS-KEY (“additive manufacturing” AND “automotive supply chain” OR “supply chain management”)

3.1.3 Filtros de seleção

Para fazer uma seleção dos documentos encontrados na etapa anterior, dois filtros foram elaborados seguindo os seguintes critérios:

- 1- Filtro 1: leitura do título, resumo e palavras-chave dos documentos.

- 1º Critério: os trabalhos devem estar disponíveis para serem acessados;
- 2º Critério: os trabalhos devem estar escritos em inglês;
- 3º Critério: os trabalhos devem introduzir os temas Manufatura Aditiva e/ou Cadeia de Suprimentos Automotiva e/ou Gestão da Cadeia de Suprimentos.

2- Filtro 2: Leitura completa da obra.

- 1º Critério: os trabalhos pré-selecionados devem ter uma quantidade relevante de citações e referências;
- 2º Critério: os trabalhos pré-selecionados devem relacionar a Manufatura Aditiva com Cadeia de Suprimentos Automotiva ou com Gestão da Cadeia de Suprimentos.

3.2 Análise dos Dados

Essa seção irá abordar o processo da RBS, de condução das buscas e escolha dos artigos a serem analisados pelo estudo de maneira sintetizada.

3.2.1 Buscas e escolha dos artigos

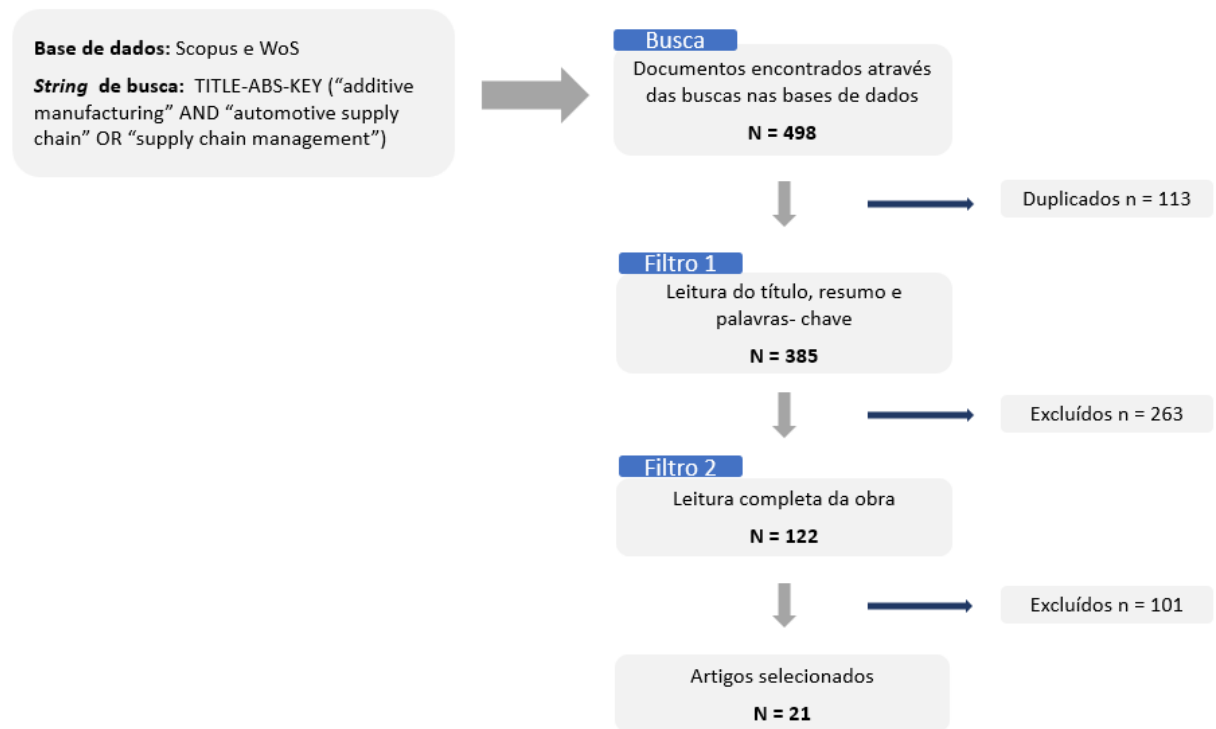
As buscas feitas nas bases *Scopus* e *Web of Science*, anteriormente citadas, foram realizadas no período entre novembro de 2021 e janeiro de 2022. Vale ressaltar que não foi estipulado nenhum critério temporal na filtragem dos estudos, ou seja, foram considerados todos os artigos publicados até a data da realização das buscas.

A fim de organizar o material coletado, o aplicativo de gerenciamento de referências *Mendeley* foi utilizado. Através desse *software* foi feita toda a catalogação, documentação e gerência dos trabalhos selecionados.

Na plataforma *Scopus*, foram encontrados 226 artigos com base na *string* definida. Já na plataforma *Web of Science* 272 periódicos foram encontrados. Portanto, somando os dois números, foram 498 trabalhos encontrados. No entanto, 113 artigos estavam duplicados, assim foram excluídos e restaram 385 artigos na lista para serem analisados com base nos critérios do Filtro 1.

Aplicando o Filtro 1, que constituiu na leitura do título, palavras-chave e resumo, foram eliminados 263 trabalhos e, portanto, 122 foram selecionados para passarem pelo segundo filtro. Na aplicação do Filtro 2, foram escolhidos 21 documentos para a realização da análise final, com a meta de cumprir o objetivo do presente trabalho. A Figura 8 ilustra o processo percorrido.

Figura 8: Fases principais da Revisão Bibliográfica Sistemática executada



Fonte: elaborado pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa seção do projeto, o objetivo é apresentar os principais resultados e análises relativos à execução da RBS com base nos trabalhos selecionados na etapa anterior.

4.1 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica busca apresentar de forma organizada as principais estatísticas relacionadas aos 21 artigos selecionados para análise final. No Quadro 2 pode se observar o ID dos trabalhos, nome dos autores, título das obras e o ano de publicação de cada trabalho.

Quadro 2: Artigos selecionados para a análise final.

(início)			
Índice	Autor (es)	Título	Ano
1	JIAN, R.; KLEER, R.; PILLER, R.	Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030	2017
2	MOTERO, J. et al.	Spare part production in remote locations through Additive Manufacturing enhanced by agile development principles	2019
3	KHAJAVI, S. et al.	Additive manufacturing in the spare parts supply chain	2014
4	MUIR, M.; HADDUD, A.	Additive manufacturing in the mechanical engineering and medical industries spare parts supply chain	2018
5	VERBOEKET, V.; KRIKKE, H.	The disruptive impact of additive manufacturing on supply chains: A literature study, conceptual framework and research agenda	2019
6	STRONG, D. et al.	Hybrid manufacturing – integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain	2018

(continuação)

7	RYAN, M. et al.	3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed	2017
8	WIELAND, A.	How 3D Printing Could Revolutionize Supply Chains	2014
9	MANNERS-BELL, J.; LYON, K.	The implications of the 3D printing for the global logistics industry, Transport Intelligence Ltd.	2012
10	DELIC, M.; EYERS, D.	The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry	2020
11	KUBÁČ, L.; KODYM, O.	The impact of 3D printing technology on supply chain	2017
12	BERGER, R.	Additive manufacturing A game changer for the manufacturing industry	2013
13	LIM, C. et al.	An Overview of 3-D Printing in Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries	2016
14	TOFAIL, S. et al.	Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities	2018
15	ATTARAN, M.	The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing	2017
16	LEE, J.; AN, J.; CHUA, C.	Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials	2017
17	DUDA, T.; RAGHAVAN, L.	3D Metal Printing Technology	2016

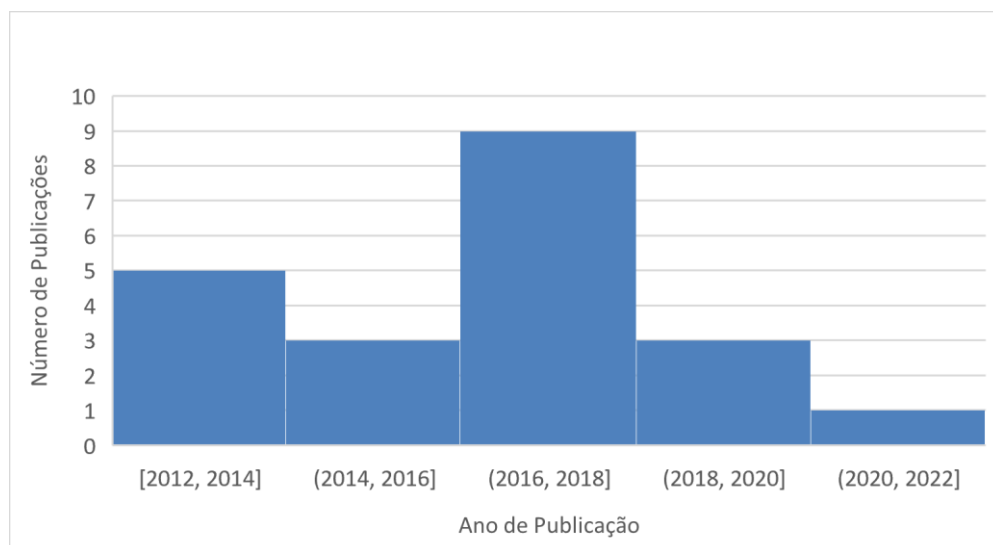
(conclusão)

18	THOMPSON, M. et al.	Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints	2016
19	DURACH, C.; KURPJUWEIT, S.; WAGNER, S.	The impact of additive manufacturing on supply chains	2017
20	ALOGLA, A. et al.	The impact of additive manufacturing on the flexibility of a manufacturing supply chain	2021
21	ROBBERT, J. et al.	The Impact of 3D Printing on Supply Chain Management	2014

Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale notar que apesar de não ter sido estabelecido nenhum critério temporal na metodologia de RBS adotada, pode se observar através da Figura 9 que os artigos selecionados são relativamente recentes.

Figura 9: Ano de publicação dos artigos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Análise qualitativa

Com base nas informações apresentadas sobre Manufatura Aditiva, Gestão da Cadeia de Suprimentos e Cadeia de Suprimentos Automotiva, agora é possível combinar os conceitos desses tópicos e gerar uma discussão dos impactos que poderiam ocorrer com a crescente adoção da MA na GCS sob a perspectiva da indústria automobilística.

Vale notar que esse trabalho não teve como foco apresentar barreiras e desafios correspondentes à manufatura aditiva, como o controle de qualidade do processo, necessidade de pós-processamento, repetibilidade do processo controle das propriedades físicas dos componentes, controle de qualidade da matéria prima e domínio das estratégias e parâmetros de deposição (DIETRICH; KENWORTHY; CUDNEY, 2019).

A fim de manter a discussão organizada, as categorias do Modelo de Referências de Operações da Cadeia de Suprimentos (SCOR) serão utilizados como um guia e seguirão a ordem em que foram descritos no capítulo anterior e as características do processo de Manufatura Aditiva serão combinadas com essas categorias para criar-se conclusões.

4.2.1 Planejamento

Como descrito anteriormente, esse processo é o responsável por coletar os dados internos e externos de operação da companhia, para que sejam analisados em maior profundidade com o intuito de serem usados como base para auxiliar os processos de tomada de decisão. Assim, o objetivo é gerar uma previsão com maior precisão da demanda do mercado.

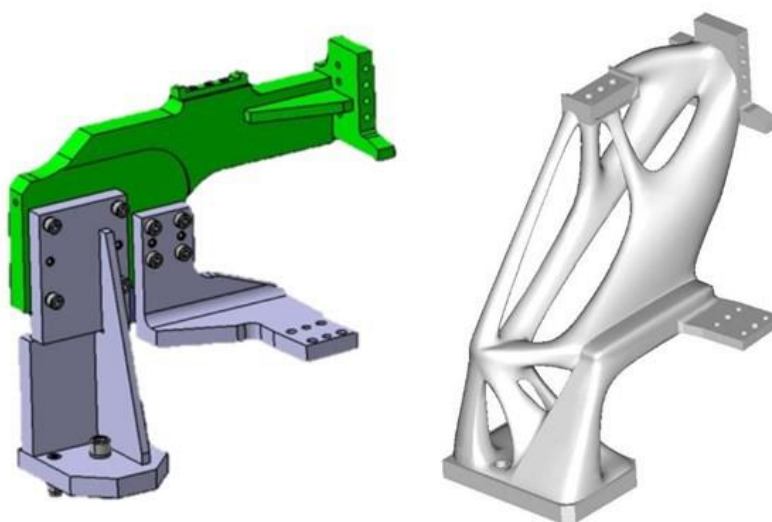
Através da adoção da MA essa etapa de planejamento pode se tornar mais simples, visto que não seria necessário estimar uma demanda específica para cada Unidade de Manutenção de Estoque (do inglês *Stock-keeping unit (SKU)*) uma vez que a Manufatura Aditiva consegue produzir diferentes componentes através de um insumo básico único (VERBOEKET; KRIKKE, 2019).

Nesse contexto a tarefa de planejamento das empresas automobilísticas, que lidam com uma imensa quantidade de SKUs, se tornaia menos complicada e mais assertiva tendo em vista que menos variáveis estariam envolvidas no planejamento.

4.2.2 Abastecer

Devido a qualidade do processo de Manufatura Aditiva de produzir virtualmente qualquer geometria e de poder combinar materiais durante a deposição, componentes compostos por várias peças podem ser fabricados em apenas uma parte única, e em um ou mais materiais (BERGER, 2013; DUDA; RAGHAVAN, 2016). Como ilustra a Figura 10, o componente à esquerda requer múltiplas peças, aparentemente de materiais distintos, além de necessitar de etapas de montagem para que seja produzido e assuma a sua função definitiva. Ainda, são necessários elementos de fixação como parafusos para manter as partes unidas.

Figura 10: Exemplo de componente que pode ser fabricado em uma peça única.



Fonte: imagem ilustrativa retirada da internet.

Nesse contexto, se a Manufatura Aditiva fosse adotada para a fabricação desse componente, não seria necessário ter fornecedores específicos para cada parte do conjunto, também poderiam ser descartados processos de montagem para unir as peças e gerar o componente final. Dessa maneira, menos fornecedores seriam necessários para a operação, o que contribuiria para um dos desafios da cadeia de suprimentos da indústria automobilística que é justamente a quantidade de “*players*” envolvidos no processo de produção (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017).

A MA poderia reduzir a complexidade das cadeias de suprimentos visto que as empresas poderiam ser capazes de produzir componentes em apenas uma peça única. Dessa

maneira, a lista de fornecedores provavelmente seria reduzida tornando a cadeia logística mais simples e mais ágil (DELIC; EYERS, 2020).

Para ilustrar essa situação, imagine que um parafuso é necessário para fixar duas partes juntas e formar um conjunto. Nessa situação, para que o conjunto seja montado, é necessário que haja um fornecedor especificamente para fornecer os parafusos. Através da MA, contudo, esse fornecedor não seria mais necessário.

Várias partes distintas podem ser produzidas a partir da mesma matéria prima no caso da Manufatura Aditiva (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; VERBOEKET; KRIKKE, 2019). Também, a matéria prima pode ser guardada em grandes quantidades uma vez que apresentam um valor agregado relativamente baixo. Assim, seria possível otimizar o inventário e estoque de forma a melhorar a disponibilidade do produto e reduzir a probabilidade de desabastecimento. Pode se dizer então, que a matéria prima para a Manufatura Aditiva no geral apresenta características de bem de alavancagem no modelo de Kraljic, ou seja, de produto que tem participação no lucro da empresa com um baixo risco de fornecimento (JANSSEN et al., 2014).

As máquinas de deposição são controladas por comando numérico (do inglês *Controlled by Numeric Command (CNC)*) e, portanto, a quantidade de mão de obra necessária pode ser reduzida, o que implica em um custo reduzido da operação e também, diminui a pressão para que as empresas montem suas fábricas em regiões onde a mão de obra é mais barata (ATTARAN, 2017). Dessa maneira, as fábricas poderiam ficar mais próximas de seus clientes finais e isso contribuiria positivamente para a redução da complexidade da cadeia de suprimentos, visto que barreiras como diferença cultura, de idioma, de leis e distância poderiam ser reduzidas.

4.2.3 Fazer

Uma peça produzida através do processo de Manufatura Aditiva tem o potencial de reduzir o desperdício de material quando comparado a processos convencionais de manufatura subtrativa, em que o excesso de material é removido do substrato até que se atinja a geometria final desejada. Nessa lógica, gerar menos desperdício significa que menos material deverá ser necessário no processo. Portanto, isso implica em uma redução no custo de produção que pode tanto afetar as margens de venda quanto o preço de venda, resultando em uma vantagem competitiva para a companhia. Ainda nessa questão de redução no desperdício de material, a MA tem uma pegada ambiental reduzida, visto que essa tecnologia

utiliza apenas a quantidade necessária de material para produzir um componente (ATTARAN, 2017).

O uso da MA pode reduzir a quantidade de etapas em um processo de produção, portanto a quantidade, capacidade e capital investido em instalações e equipamentos de um parque fabril também pode ser reduzido (VERBOEKET; KRIKKE, 2019). Fato que geraria uma melhor eficiência das OEM e uma vantagem competitiva sobre os concorrentes.

A MA possibilita que peças com geometrias mais complexas, que não poderiam ser fabricadas através de métodos convencionais, sejam fabricadas sem um aumento de custo expressivo (LIM et al., 2016). Dessa forma, as OEM poderiam utilizar dessa vantagem para projetar componentes mais eficientes para seus produtos e obterem vantagem competitiva sobre os concorrentes. Ainda, com a MA, a produção se torna mais flexível uma vez que cada máquina pode produzir inúmeras peças diferentes (RYAN et al., 2017).

Os processos típicos adotados pela indústria geralmente requerem um longo tempo de *setup* da máquina para o início da manufatura. Esse *setup* envolve a troca do ferramental, novo planejamento das dimensões da matéria prima entre outras atividades. Assim, é mais difícil para uma OEM adaptar suas máquinas para produzirem componentes novos, ou até mesmo fabricar mais de um componente em apenas uma máquina, para seguirem a demanda do mercado, que como vimos anteriormente, no setor automobilístico, o processo de inovação é constante e produtos são lançados todos os anos. No caso da adoção da Manufatura Aditiva, esse tempo de *setup* poderia ser drasticamente reduzido e, portanto, a OEM se tornaria mais ágil e eficiente para seguir as demandas (inovações) do mercado (KUBÁČ; KODYM, 2017; MUIR; HADDUD, 2018).

Nesse sentido, a adoção da MA agregaria as vantagens de tornar a indústria automobilística mais ágil, necessitando de menos máquinas para produzir os diversos componentes que pertencem a cadeia de suprimentos automobilística e permitindo que peças mais complexas e otimizadas sejam produzidas.

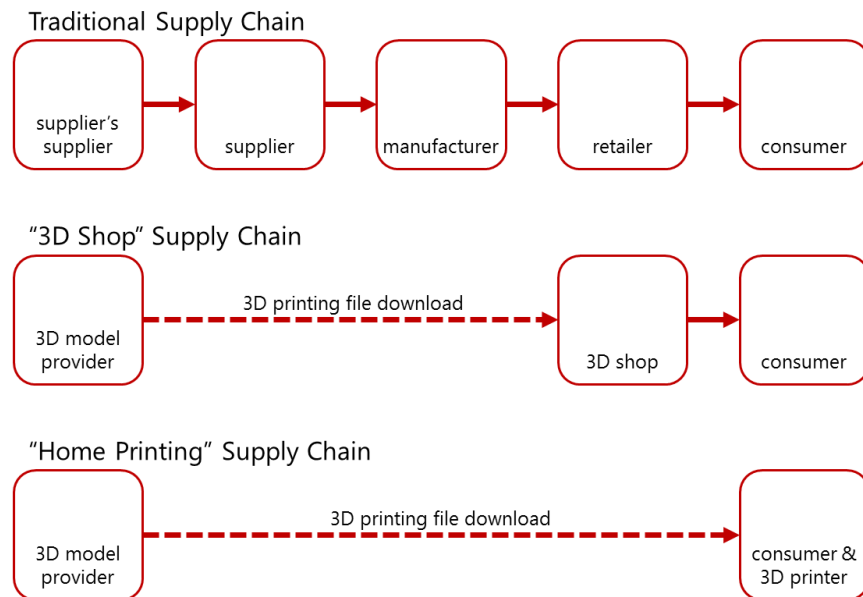
4.2.4 Entregar

Assim como foi dito anteriormente, etapas de montagem durante a linha de produção poderiam ser eliminadas, assim possibilitando a redução do custo de mão de obra, custo de estoque, custo de manuseio dos materiais e peças e os custos de logística (MANNERS-BELL; LYON, 2012).

Suponha que certa empresa automobilística precisa de uma peça de reposição. Se essa peça for produzida do outro lado do planeta, o consumidor ou teria que esperar por um longo tempo até receber essa peça, ou ele iria pagar um alto valor para agilizar o envio do componente.

Com a Manufatura Aditiva, por outro lado, se essa empresa automobilística tivesse uma instalação de impressão 3D, não seria um problema ter que encomendar uma peça que venha do outro lado do mundo. A empresa poderia apenas comprar do fornecedor o arquivo do modelo digital tridimensional (ou um arquivo CAD) da peça e em instantes iria recebê-lo. Em seguida, esse arquivo teria que ser enviado para a máquina de impressão 3D para que a deposição da peça seja realizada. Dessa forma, a etapa “Entregar” seria mais simples, menos custosa e consumiria bem menos tempo (STRONG et al., 2018; VERBOEKET; KRIKKE, 2019). A Figura 11 ilustra um possível modelo de cadeia de suprimentos quando a Manufatura Aditiva é incorporada no processo de produção.

Figura 11: Modelo de Cadeia de Suprimentos Tradicional e com AM.



Fonte: Wieland (2014).

4.2.5 Retornar

Com relação ao serviço de suporte ao cliente, ou também, serviço de pós-venda, um grande desafio que as companhias automobilísticas enfrentam está na gestão de peças de reposição e manutenção. Além disso, as empresas têm que arcar com os altos custos para manter um estoque de peças obsoletas.

No caso da implementação da MA, essa tarefa de manter um inventário de peças de reposição e manutenção se tornaria muito mais simples e eficiente. Em curtas palavras, poderia ser dito que essas peças poderiam ser armazenadas na memória de um disco rígido, em forma digital, que obviamente ocupa muito menos espaço do que os tradicionais depósitos (JANSSEN et al., 2014). Também, a produção de peças de reposição pode ser realizada *on-site* e apenas no momento em que a demanda for criada, o que implicaria numa simplificação na cadeia logística e uma redução ou até eliminação de estoques (JIANG; KLEER; PILLER, 2017; KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014).

A indústria automobilística é muito dinâmica e, portanto, a gestão da obsolescência de peças é desafiadora, pois não basta apenas estimar uma quantidade de certo componente que deve ser produzido a mais para ser estocado por um longo tempo para suprir produtos antigos. O desafio engloba também guardar as ferramentas, como um molde, utilizadas para a produção desses componentes. Nesse sentido a implementação da MA seria benéfica visto que por meio dela, um produto pode ser fabricado a partir do seu modelo digital (DUDA; RAGHAVAN, 2016b; MONTERO et al., 2019).

Para poder responder com rapidez a demanda do mercado com relação à necessidade de peças obsoletas, a adoção da Manufatura Aditiva poderia impactar positivamente. Sabendo que a indústria automobilística engloba uma enorme variedade de componentes diferentes, que a demanda por peças obsoletas é reduzida e que a MA minimiza a necessidade de ferramentas necessárias e tempo de setup de máquina no processo de fabricação, a adoção da tecnologia de MA tornaria essa categoria “Retornar” da cadeia mais flexível e mais eficiente (ALOGLA et al., 2021; JIANG; KLEER; PILLER, 2017).

A indústria automobilista depende de fornecedores espalhados pelo mundo todo, no entanto, com a MA as unidades fabris poderiam ser montadas mais próximas do cliente assim reduzindo o custo logístico para fazer com que a peça chegue ao cliente será reduzido (MONTERO et al., 2019).

Outra oportunidade trazida pela MA com relação ao pós-venda está no potencial que essa tecnologia tem para realizar reparos em componentes danificados ou desgastados, que normalmente teriam que ser descartados, estendendo sua vida útil (THOMPSON et al., 2016; VERBOEKET; KRIKKE, 2019). Assim, como a peça pode ser reparada, não seria necessário

ter o estoque desse componente ou fazer uma encomenda dele, simplificando a complexidade da cadeia.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpre com o seu objetivo principal na medida em que foi possível construir uma base sólida de estudo baseada na literatura disponível sobre a Manufatura Aditiva e, também, sobre as características específicas de uma Cadeia de Suprimentos Automotiva. Foi possível combinar as qualidades e oportunidades trazidas pela Manufatura Aditiva com os desafios característicos da Cadeia de Suprimentos Automotiva, assim respondendo a seguinte pergunta: Quais são os possíveis impactos que a adoção da Manufatura Aditiva pode ter no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos sob o contexto do setor Automobilístico?

Foram apresentadas vantagens do processo de Manufatura Aditiva como: Capacidade de fabricar peças com geometrias mais complexas sem impactar diretamente o custo; tempo mais curto de setup das máquinas se comparado aos processos convencionais; utilização apenas da matéria prima necessária para a fabricação de certo componente; possibilidade de fabricar conjuntos em uma peça única; possibilidade de fabricar diferentes peças a partir um insumo base único; possibilidade de fabricar um componente direto de um modelo virtual; e possibilidade de aumentar a vida útil de componentes quebrados ou desgastados através da realização de reparos.

Essas qualidades da MA podem impactar a cadeia de suprimentos automobilística, que é caracterizada por ser extensa, envolver muitos *players*, ser complexa, estar espalhada no mundo todo, ser difícil de gerenciar, envolver uma enorme quantidade de componentes distintos e ter que seguir o dinamismo do segmento que está constantemente inovando. A adoção da MA nesse cenário, poderia tornar a cadeia mais flexível, mais ágil, com *lead times* menores, envolvendo menos *players*, reduzindo os custos logísticos e de estoque, reduzindo a pegada ambiental e aumentando a satisfação do cliente.

As principais vantagens observadas estão relacionadas à redução de custo logístico, custo de estocagem, custo de mão de obra, melhor aproveitamento da matéria prima, maior agilidade e tempo de resposta com relação a demanda do mercado. Também pode se dizer que há uma redução do impacto ambiental gerado pelo processo. Pode se concluir então que a adoção do processo de impressão 3D tem impacto positivo na cadeia.

Ressaltando que esse trabalho focou nas barreiras e desafios correspondentes à manufatura aditiva, como o controle de qualidade do processo, necessidade de pós-processamento, repetibilidade do processo controle das propriedades físicas dos componentes, controle de qualidade da matéria prima e domínio das estratégias e parâmetros de deposição

Com relação à metodologia, é importante ressaltar que a Revisão Bibliográfica Sistemática possui algumas limitações, visto que ela requer *strings* e plataformas específicas para a busca de material e parâmetros distintos de busca a serem aplicados, principalmente no que se refere à estruturação de filtros de análise e seus respectivos critérios de inclusão e exclusão de artigos.

Assim, é importante que a temática desta pesquisa seja aprofundada através de outros modelos e técnicas, bem como adaptada para outras áreas e tipos de pesquisa (modelos específicos). Vale notar que a aplicação da metodologia de Revisão Sistemática Bibliográfica é um processo contínuo e, dessa forma, não se deve parar com a produção do presente trabalho visto que novas pesquisas sobre o assunto continuam sendo desenvolvidas atualmente, dada a relevância do tema, e artigos desenvolvidos anteriormente podem não ter sido considerados na RBS devido às restrições colocadas na *string* de busca.

Como sugestão de estudos futuros relacionados a essa temática, aconselha-se que sejam realizados trabalhos bibliográficos focando em técnicas específicas dentro do guarda-chuva da Manufatura Aditiva, como por exemplo focando no processo de *Directed Energy Deposition*, *Powder Bed Fusion* e *Fused Filament Fabrication* ou focando em materiais específicos, visto que no presente trabalho foi considerado o processo de MA de uma maneira genérica.

REFERÊNCIAS

- Maker Hub.** Disponível em: <<https://blogs.baruch.cuny.edu/makerhub/3d-design-and-printing/3d-printing-lesson-1/>>. Acesso em: 9 jan. 2022.
- ALOGLA, A. A. et al. The impact of additive manufacturing on the flexibility of a manufacturing supply chain. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 11, n. 8, 2021.
- AMBE, I. M. Strategic supply chain framework for the automotive industry. **African Journal of Business Management**, v. 4, n. 10, p. 2110–2120, 2010.
- ASTM. Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology. **ASTM International**, v. i, p. 1–9, 2015.
- ATTARAN, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. **Business Horizons**, v. 60, n. 5, p. 677–688, 2017.
- BARNES, S. J. Assessing the value of IS journals. **Communications of the ACM**, v. 48, n. 1, p. 110–112, 2005.
- BENKO, C.; MCFARLAN, W. Metamorphosis in the auto industry. **Strategy & Leadership**, v. 31, n. 4, p. 4–8, 2003.
- BERGER, R. Additive manufacturing A game changer for the manufacturing industry. **Roland Berger Strategy Consultants GmbH, Munich**, v. 1, n. November, p. 5.1, 2013a.
- BERGER, R. Additive manufacturing A game changer for the manufacturing industry. **Roland Berger Strategy Consultants GmbH, Munich**, v. 1, n. November, p. 5.1, 2013b.
- CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. 5th. ed. [s.l.] Pearson UK, 2016.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CNGDP 2011**, n. 1998, p. 1–12, 2011.
- COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. **SCM: More than a new name for logistics**. **The International Journal of Logistics Management**, 1997. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?issn=0957-4093&volume=8&issue=1&articleid=1527432&show=html>>
- DELIC, M.; EYERS, D. R. The effect of additive manufacturing adoption on supply chain flexibility and performance: An empirical analysis from the automotive industry. **International Journal of Production Economics**, v. 228, n. February, p. 107689, 2020.

DIETRICH, D. M.; KENWORTHY, M.; CUDNEY, E. A. **Additive Manufacturing Change Management: Best Practices**. [s.l.] CRC Press, 2019.

DUDA, T.; RAGHAVAN, L. V. 3D Metal Printing Technology. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 29, p. 103–110, 2016a.

DUDA, T.; RAGHAVAN, L. V. 3D Metal Printing Technology. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 29, p. 103–110, 2016b.

DURACH, C. F.; KURPUWEIT, S.; WAGNER, S. M. The impact of additive manufacturing on supply chains. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 47, n. 10, p. 954–971, 2017.

GEBISA, A. W.; LEMU, H. G. A case study on topology optimized design for additive manufacturing. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 276, n. 1, 2017.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition**. 2. ed. New York: Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2015.

HART, C. **Doing a Literature Review: Releasing the Social Science Research Imagination**. Sage Publications, , 1998.

HUAN, S. H.; SHEORAN, S. K.; WAN, G. A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. **Supply Chain Management**, v. 9, n. 1, p. 23–29, 2004.

HUGO, W. **Supply chain management: logistics in perspective**. [s.l.] Van Schalk, 2010.

JANSSEN, R. et al. The Impact of 3D Printing on Supply Chain Management. **Tno**, n. April, p. 24, 2014.

JIANG, R.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 117, p. 84–97, 1 abr. 2017.

JIN, Z. et al. Machine Learning for Advanced Additive Manufacturing. **Matter**, v. 3, n. 5, p. 1541–1556, 2020.

JONES, T. C.; RILEY, D. W. Using Inventory for Competitive Advantage through Supply Chain Management. **International Journal of Physical Distribution & Materials Management**, v. 15, n. 5, p. 16–26, 1985.

KAUSHISH, J. P. **Manufacturing Processes, Second Edition**. Second ed. [s.l.] PHI Learning Private Limited, 2010.

KHAJAVI, S. H.; PARTANEN, J.; HOLMSTRÖM, J. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. **Computers in Industry**, v. 65, n. 1, p. 50–63, 2014.

KUBÁČ, L.; KODYM, O. The impact of 3D printing technology on supply chain. **MATEC Web of Conferences**, v. 134, p. 1–8, 2017.

LEE, J. Y.; AN, J.; CHUA, C. K. Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. **Applied Materials Today**, v. 7, p. 120–133, 2017.

LEVY, YAIR.; ELLIS, T. J. A Systems Approach to Conduct an Effective Literature Review in Support of Information Systems Research. **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, v. 9, p. 181–212, 2006.

LIM, C. W. J. et al. An Overview of 3-D Printing in Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries. **IEEE Potentials**, v. 35, n. 4, p. 18–22, 2016.

LONDE, B. J. LA; MASTERS, J. M. Emerging Logistics Strategies: blueprints for the next century identifying key logistics strategies. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 24, n. 7, p. 35–47, 1994.

MANGAN, J.; CHRISTOPHER, M. Management development and the supply chain manager of the future. **The International Journal of Logistics Management**, v. 16, n. 2, p. 178–191, 2005.

MANNERS-BELL, J.; LYON, K. The implications of the 3D printing for the global logistics industry, Transport Intelligence Ltd. p. 1–6, 2012.

MCCUE, T. **Additive Manufacturing Industry Grows To Almost \$12 Billion In 2019**. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/tjmccue/2020/05/08/additive-manufacturing-industry-grows-to-almost-12-billion-in-2019/#52fc214b5678>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

MENTZER, J. T. et al. Defining Supply Chain Management. **Journal of Business**, v. 22, n. 2, p. 1–25, 2001.

MONCZKA, R. M. et al. Success factors in strategic supplier alliances: The buying company perspective. **Decision Sciences**, v. 29, n. 3, p. 553–577, 1998.

MONTERO, J. et al. Spare part production in remote locations through Additive Manufacturing enhanced by agile development principles. **Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2019**, 2019.

MOURA, A. E. Abnt Nbr Iso. p. 15–25, 2018.

MUIR, M.; HADDUD, A. Additive manufacturing in the mechanical engineering and medical industries spare parts supply chain. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 2, p. 372–397, 2018.

OKOLI, C. A citation analysis of theoretical concept reviews. **25th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2019**, n. September, 2019.

RYAN, M. J. et al. 3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 47, n. 10, p. 992–1014, 2017.

SIMCHI-LEVI, D. et al. Automotive Supply Chain. **Interfaces**, v. 45, n. 5, p. 375–390, 2015.

SINGH, R. **Introduction to Basic Manufacturing Process and Workshop Technology**. [s.l.] New Age International (P), Limited, Publishers, 2006.

STEVENS, G. C. Integrating the supply chain. **Materials management in health care.**, 1989.

STRONG, D. et al. Hybrid manufacturing – integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain. **Additive Manufacturing**, v. 21, n. February, p. 159–173, 2018.

SUPPLY CHAIN COUNCIL OF NORTH AMERICA. **Version 10.0 Supply Chain Operations Reference (SCOR)**. [s.l: s.n.].

TANG, D.; QIAN, X. Product lifecycle management for automotive development focusing on supplier integration. **Computers in Industry**, v. 59, n. 2–3, p. 288–295, 2008.

THOMAS-SEALE, L. E. J. et al. The barriers to the progression of additive manufacture: Perspectives from UK industry. **International Journal of Production Economics**, v. 198, n. February, p. 104–118, 2018.

THOMPSON, M. K. et al. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 2, p. 737–760, 2016.

TOFAIL, S. A. M. et al. Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. **Materials Today**, v. 21, n. 1, p. 22–37, 2018.

TURNER, K.; WILLIAMS, G. Modelling complexity in the automotive industry supply chain. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 16, n. 4, p. 447–458, 2005.

VELOSO, F.; KUMAR, R. The automotive supply chain: Global trends and Asian perspectives. **ERD Working Paper Series**, n. 3, p. 1–42, 2002.

VERBOEKET, V.; KRIKKE, H. The disruptive impact of additive manufacturing on supply chains: A literature study, conceptual framework and research agenda. **Computers in Industry**, v. 111, p. 91–107, 2019.

WIELAND, A. **How 3D Printing Could Revolutionize Supply Chains**. , 2014. Disponível em: <<https://scmresearch.org/2014/12/10/how-3d-printing-could-revolutionize-supply-chains/>>

WOHLERS, T. T.; CAFFREY, T. **Wohlers Report 2020: 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry**. Fort Collins, CO: [s.n.].

ZHOU, H. et al. Supply chain integration and the SCOR model. **Journal of Business Logistics**, v. 32, n. 4, p. 332–344, 2011.