

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



**IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE
NEGÓCIO**

DENISE FRANCO

TESE DE DOUTORADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DENISE FRANCO

IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE NEGÓCIO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Miller Devós Ganga

SÃO CARLOS-SP

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Denise Franco, realizada em 10/07/2019:

Prof. Dr. Gilberto Miller Devos Ganga
UFSCar

Prof. Dr. Moacir Godinho Filho
UFSCar

Prof. Dr. Luis Antonio de Santa Eulalia
USHERBROOKE

Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto
USP

Prof. Dr. Rui Tadashi Yoshino
UTFPR

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Luis Antonio de Santa Eulalia, Kleber Francisco Esposto e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dr. Gilberto Miller Devos Ganga

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me dar a oportunidade de vivenciar experiências únicas e grandes aprendizados nesta vida. Apenas tento retribuir há tudo isso, sempre buscando a bondade que Ele nos ensinou.

Ao professor Dr. Gilberto Miller Devós Ganga por ter acreditado em mim e ter compartilhado todo o seu conhecimento durante todos esses anos. Eu sou grata pela oportunidade que tive de aprender com você ao longo desses quase seis anos e meio de mestrado e doutorado.

À minha família, pais Tarcila e Sidney, irmã Natália e cunhado Gustavo, obrigada por compartilharem comigo esse período tão importante. Vocês aguentaram muitas crises de estresse e nervosismo. Obrigada pela ajuda de estarem sempre ao meu lado, mesmo muitas vezes, não entendendo o que se passava. A presença de vocês foi essencial para me dar forças para a conclusão desta etapa.

Ao restante dos meus familiares e amigos, que mesmo não sendo da área acadêmica, sempre estavam dispostos a me escutar e tentar ajudar de alguma forma nas horas de desânimo. Eu não conseguiria sem vocês.

Ao meu segundo pai e tio Fernando (*in memorium*) e minha avó Tarcilla (*in memorium*), os quais faleceram durante o período deste trabalho e que, com certeza, foi difícil continuar a minha caminhada sem a presença de vocês.

Ao professor Dr. Moacir Godinho Filho por me receber e guiar ardentemente nos últimos passos desta pesquisa. Ao Ph.D. Luis Antonio de Santa-Eulalia por me receber e compartilhar seu conhecimento durante o período do doutorado sanduíche em Sherbrooke – Canadá. A sua calorosa recepção e da professora Dra. Juliana Veiga Mendes me esquentou no frio canadense. Aos professores Dr. Kleber Francisco Esposto e Dr. Rui Tadashi Yoshino pelas contribuições na banca de defesa.

À todos os amigos que fiz do PPGEP da UFSCar e da USP, Luana, Paula, Michele, Geandra, Miriam, Ronaldo, Letícia, Fernando, Clarissa, Luciano, Renata, Lucas, Adauto, Thiago e muitos outros colegas que passaram pelo PLACOP, a companhia de todos foi muito especial durante esses anos de desabafos e lamentações.

Obrigada aos funcionários de toda a UFSCar e principalmente do PPGEP, Robson, Lucas e Natália, pela presteza e gentileza em suas atividades diárias.

Agradeço aos órgãos que financiaram esta pesquisa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Brasil) e *Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP - Canadá)*.

E, por fim, agradeço imensamente, aos profissionais que aceitaram participar da pesquisa e cederam um pouco do seu tempo. Sem o compartilhamento da vivência e conhecimento deles, não teria sido possível a realização do estudo.

RESUMO

FRANCO, D. **Impactos da manufatura aditiva no modelo de negócio**. 280.f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2019.

Uma mudança no consumo tem impactado a produção industrial, que atualmente tende a um baixo volume de produção de produtos customizados. Para se manter competitivo diante dessas tendências da Quarta Revolução Industrial, as empresas têm procurado novas técnicas de fabricação para equipar-se com as ferramentas necessárias para uma maior flexibilidade e produção econômica. A Manufatura Aditiva pode ser considerada como tal técnica e tornou-se um dos principais fenômenos de ruptura que irá impactar as empresas. O maior potencial de ruptura dessa tecnologia reside claramente nas aplicações industriais e como elas irão influenciar o modelo de negócio. Diante disso, esta pesquisa teve como objetivo explorar os impactos da MA no modelo de negócio Canvas. As motivações e limitações para a implementação da MA também foram investigadas. Para isso, realizou-se uma revisão sistemática da literatura juntamente com um painel de especialista, um estudo de caso múltiplo e entrevistas com profissionais com intuito de refinar e testar a teoria. Assim, a pesquisa buscou um equilíbrio entre a explicação da literatura e a prática. Com os resultados da pesquisa os impactos da MA no modelo de negócio, e suas motivações e limitações foram identificados. Por fim, proposições de pesquisa foram sugeridas, baseado no que o estudo trouxe de evidência empírica e novidade para a literatura. Comprovou-se empiricamente que a adoção da MA leva ao aumento da democratização da produção, à intensificação do fluxo de informação, ao aumento do impacto ambiental, ao impacto negativo na saúde e segurança dos trabalhadores. Além disso, a novidade para a literatura é que a MA torna mais complexo o processo de produção e leva à mudança de cultura da empresa. As limitações para a adoção da MA inéditas para a literatura foram imagem errada da tecnologia e falta de vontade de testar.

Palavras-chave: Impressão 3D. Efeitos. Modelo de negócio CANVAS. Motivações. Limitações.

ABSTRACT

FRANCO, D. *Impacts of additive manufacturing on business model*. 280s. Thesis (Postgraduate Program in Industrial Engineering) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2018.

A change in consumption has impacted the industrial production, which currently tends to a low volume of production of customized products. Stay competitive in the face of these Fourth Industrial Revolution trends, companies have been looking for new manufacturing techniques to equip themselves with the tools needed for greater flexibility and economic output. Additive Manufacturing can be considered as such technique and has become one of the major disruption phenomena that will impact companies. The greatest breakthrough potential of this technology lies clearly in industrial applications and how they will influence the business model. Therefore, this research aimed to explore the impacts of AM in the business model Canvas. Motivations and limitations for the AM implementation were also investigated. For this, a systematic literature review together with a specialist's panel, a multiple case study and professionals' interviews were carried out with the purpose of refining and testing the theory. Thus, the research sought a balance between the explanation of literature and practice. With the results of the research the AM impacts on business model, and its motivations and limitations were identified. Finally, research propositions were suggested. It has been empirically proven that the AM adoption leads to increased democratization of production, intensified information flow, increased environmental impact, and negative impact on workers' health and safety. In addition, the novelty for the literature is that the AM makes the production process more complex and leads to the company's culture change. The limitations for the AM adoption unpublished for the literature were wrong image of the technology and lack of willingness to test.

Keywords: 3D printing. Effects. Business model CANVAS. Motivations. Limitations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – <i>Release</i> metodológico	18
Figura 2.1 – Processos da manufatura aditiva	30
Figura 2.2 – Modelo de Negócio Canvas	38
Figura 3.1 – Resumo da quantidade de artigos resultantes após cada etapa	52
Figura 3.2 – Ano de publicação dos artigos	53
Figura 3.3 – Fonte dos artigos estudados	54
Figura 3.4 – Abordagens e métodos de pesquisa utilizados nos estudos	55
Figura 3.5 – Materiais utilizados na MA.....	56
Figura 3.6 – Técnicas de MA identificadas nos estudos.	58
Figura 3.7 – Indústrias e setores estudados nos artigos.....	60
Figura 3.8 – Características do produto da MA	63
Figura 3.9 - Relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa	96
Figura 3.10 – Fluxograma do processo de categorização e agrupamento dos impactos	99
Figura 3.11 – Impactos da adoção da MA categorizados nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas.....	118
Figura 3.12 - Modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa	129
Figura 4.1 – Etapas e métodos de pesquisa utilizados.....	136
Figura 4.2 – Resumo da quantidade de artigos resultantes após cada etapa	138
Figura 3.9 - Relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa	139
Figura 3.10 – Fluxograma do processo de categorização e agrupamento dos impactos	140
Figura 4.3 - Modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa	153
Figura 4.4 - Modelo teórico conceitual da pesquisa.....	208

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Visão geral dos métodos aplicados	19
Quadro 2.1 - Estágios de adoção da MA e envolvimento resultante na produção.....	28
Quadro 2.2 – Tecnologia de MA patenteada <i>versus</i> código aberto	30
Quadro 2.3 – Definições de MN encontradas na literatura	36
Quadro 2.4 – Descrição dos blocos de construção do MN Canvas.....	40
Quadro 2.5 – Estudos comparados com o MN Canvas.....	46
Quadro 3.1 – Resumo do procedimento da revisão sistemática da literatura	50
Quadro 3.2 – Protocolo do procedimento da RSL	50
Quadro 3.3 - Impactos da adoção da MA identificados nos artigos	92
Quadro 3.4 - Resumo do perfil dos especialistas participantes do estudo	98
Quadro 3.5 - Impactos da adoção da MA identificados nos artigos	102
Quadro 3.6 - <i>Gaps</i> na literatura dos impactos da adoção da MA.....	106
Quadro 3.7 – Motivações da adoção da Manufatura Aditiva.....	120
Quadro 3.8 – Limitações da adoção da Manufatura Aditiva.....	124
Quadro 4.1 – Resumo do procedimento da revisão sistemática da literatura	137
Quadro 4.2 – Protocolo do procedimento da RSL	138
Quadro 4.3 - Resumo do perfil dos especialistas participantes do estudo	140
Quadro 4.4 – Dados das empresas e dos entrevistados do estudo de casos múltiplos	143
Quadro 4.5 - Perfis dos profissionais entrevistados	148
Quadro 4.6 – Impactos da adoção da MA mais, menos e não identificados nas empresas α e β	171
Quadro 4.7 – Proposições da pesquisa.....	209

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D – Duas dimensões ou bidimensional

3D – Três dimensões ou tridimensional

ABS - Acrylonitrile Butadiene Styrene

AC - Atividades-chave

AF – Aspectos financeiros

AI - Artificial intelligence

AM – Additive manufacturing

APIC-ICT - Asia Pacific International Conference on Information Science and Technology

ASTM - American Society for Testing and Materials

BDA - Big data and analytics

BISE - Business and Information Systems Engineering

BM – Business Model

BMC – Business model Canvas

CAD - Computer aided design

CAM - Computer-aided manufacturing

CD - Canal de distribuição

CEO(s) – Chief(s) Executive Officer

CNC - Computer (ou computerized) numerical control

CO₂ - Dióxido de carbono

CPS – Cyber-physical systems

CS – Cadeia de suprimento

DDM – Direct digital manufacturing

DfAM – Design for Additive Manufacturing

DfMA – Design for Manufacturing and Assembly

DfM – Design for Manufacturing

DfSAM – Design for Sustainable Additive Manufacturing

DLP - Digital Light Processing

DMLS – Direct Metal Laser Sintering

DOI – Diffusion of Innovations

DTM - Desk Top Manufacturing Corporation

EBM – Electron beam melting

EC - Estrutura de custos

ETO – Engineering to Order

FDM - Fused Deposition Modeling

FFF – Fused Filament Fabrication

FeR – Ferramental rápido

FR - Fonte de receitas

GCS – Gestão da cadeia de suprimento

GEE – Gases do efeito estufa

GI – Gestão de infraestrutura

IC – Interface com o cliente

IE – Informação do entrevistado

ISO - International Standards Organization

IoT – Internet of things

LAM - Laser additive manufacturing

Lim – Limitação

LimC/EE – Limitação aumento da complexidade e expectativa de esforço

LimC/CF – Limitação incompatibilidade e falta de condições facilitadoras

LimIS – Limitação falta de influência social

LimO/V – Limitação falta de observabilidade e visibilidade

LimT – Limitação falta de vontade de testar

LimVR/ED – Limitação falta de vantagem relativa e expectativa de desempenho

LOM – Laminated object manufacturing

MA – Manufatura aditiva

MC – Manufatura convencional

METS – Minimum efficient technical scales

Mot – Motivação

MotC/EE – Motivação complexidade e expectativa de esforço

MotC/CF – Motivação compatibilidade e condições facilitadoras

MotIS – Motivação influência social

MotO/V – Motivação observabilidade e visibilidade

MotT – Motivação testar

MotVR/ED – Motivação vantagem relativa e expectativa de desempenho

MN – Modelo de negócio

MNC – Modelo de negócio Canvas

MP3 - MPEG Layer 3

MR – Manufatura rápida

MRO - Maintenance, Repair and Overhaul

MT – Manufatura tradicional

OEM(s) – Original equipment manufacturer(s)

PC - Parceiros-chave

PC1 – Palavras-chave 1

PC2 – Palavras-chave 2

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PME(s) – Pequena(s) e média(s) empresa(s)

PLA - Polylactic Acid

PLM – Product lifecycle management

PR – Prototipagem rápida

PV - Proposta de valor

QE – Questão específica

RBV - Resource based view

RC - Recursos-chave

RL - Relacionamento com o cliente

R&M – Reparo e manutenção

RM – Rapid manufacturing

RP – Rapid prototyping

RSL – Revisão sistemática da literatura

SC - Supply chain

SC - Segmentos de clientes

SCM – Supply chain management

SCOR - Supply chain operations reference

SLA – Stereolithography

SLS - Selective Laser Sintering

SR – Supply risk

SSL – Sinterização seletiva a laser

STL - Standard Triangle Language

TI – Tecnologia de informação

TM – Traditional manufacturing

UTAUT – Unified Theory of Acceptance and Use of Technology

WEF - World Economic Forum

WIP - Work-in-process

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	11
1.2	RELEASE METODOLÓGICO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO PRELIMINAR.....	20
2.1	INDÚSTRIA 4.0	20
2.2	MANUFATURA ADITIVA	23
2.2.1	Definição de MA.....	23
2.2.2	Evolução da MA	24
2.2.3	Etapas da MA.....	29
2.3	MODELO DE NEGÓCIO.....	33
2.3.1	MANUFATURA ADITIVA E MODELO DE NEGÓCIO	41
3	IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE NEGÓCIO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	47
3.1	INTRODUÇÃO	47
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
3.3	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	52
3.3.1	Características Gerais dos Artigos	53
3.3.2	Características do Produto da MA	61
3.3.3	Impactos da MA no Modelo de Negócio	63
3.3.3.1	Painel de Especialistas.....	96
3.3.4	Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas.....	105
3.3.4.1	Impactos da MA no Produto – Proposta de Valor	107
3.3.4.2	Impactos da MA na Gestão de Infraestrutura	108
3.3.4.3	Impactos da MA na Interface com o cliente	112
3.3.4.4	Impactos da MA nos Aspectos Financeiros.....	115
3.3.5	Motivações e Limitações da Adoção da MA	119
3.4	CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS	128
4	IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE NEGÓCIO: UMA ABORDAGEM MULTI MÉTODO	132
4.1	INTRODUÇÃO	132
4.2	MÉTODO DE PESQUISA	135
4.2.1	Revisão Sistemática da Literatura e Painel de Especialistas	137
4.2.2	Estudo de Casos Múltiplos.....	141
4.2.2.1	Seleção das Empresas para Condução do Estudo de Caso.....	141
4.2.2.2	Coleta de Dados.....	144
4.2.2.3	Análise de Dados.....	144
4.2.3	Entrevistas com Profissionais.....	146
4.2.4	Qualidade da Pesquisa.....	149
4.3	RESULTADOS	152
4.3.1	Revisão Sistemática da Literatura	152
4.3.2	Análise Intracausas do Estudo de Caso Múltiplo.....	155
4.3.2.1	Empresa α	155
4.3.2.2	Empresa β	164
4.3.3	Análise Intercasos do Estudo de Caso Múltiplo.....	170
4.3.3.1	Impactos da MA no Produto – Proposta de Valor	173
4.3.3.2	Impactos da MA na Gestão de Infraestrutura	175
4.3.3.3	Impactos da MA na Interface com o Cliente	179
4.3.3.4	Impactos da MA nos Aspectos Financeiros.....	180
4.3.3.5	Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas	182

4.3.3.6	Motivações e Limitações para a Adoção da MA	183
4.3.4	Entrevistas com Profissionais.....	186
4.3.4.1	Impactos da MA no Modelo de Negócio.....	186
4.3.4.2	Resumo dos Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas.....	193
4.3.4.3	Motivações e Limitações para a Adoção da MA	193
4.4	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÕES.....	196
4.4.1	Primeiras Evidências Empíricas a Respeito dos Impactos da MA no Modelo de Negócio.....	196
4.4.1.1	Democratização da Produção	196
4.4.1.2	Fluxo de Informação.....	198
4.4.1.3	Impacto Ambiental	199
4.4.1.4	Saúde e Segurança.....	200
4.4.2	Resultados Inéditos para a Literatura a Respeito da Adoção MA no Modelo de Negócio.....	201
4.4.2.1	Complexidade da Produção.....	201
4.4.2.2	Mudança de Cultura	202
4.4.2.3	Limitações para a adoção da MA	203
4.5	CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS	204
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	210
	REFERÊNCIAS	211
	APÊNDICES.....	224
	APÊNDICE A – PADRONIZAÇÃO DE TERMOS.....	224
	APÊNDICE B - LISTA DE ARTIGOS ESTUDADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	225
	APÊNDICE C – RESUMO DOS RESULTADOS DO PAINEL DE ESPECIALISTAS	234
	APÊNDICE D - GUIA DE ENTREVISTA	236
	APÊNDICE E - CARTA DE AUTORIZAÇÃO (PORTUGUÊS E INGLÊS)	243
	APÊNDICE F - FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO (INGLÊS E PORTUGUÊS)	252
	APÊNDICE G – PROTOCOLO DE PESQUISA	263
	ANEXO.....	275
	ANEXO A – COMPROVANTE DO COMITÊ DE ÉTICA DA UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE	275

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma visão geral deste trabalho. Inicialmente, tem-se uma breve contextualização do tema, com a importância e a justificativa da pesquisa, e, em seguida, são descritos a questão e o objetivo de pesquisa. Após, tem-se o *release* metodológico, em que a abordagem e os métodos de pesquisa são expostos. Além disso, discute-se sobre a estrutura integral da tese. Para uma melhor compreensão do texto, os termos correlatos à manufatura aditiva, encontrados na literatura, foram padronizados, conforme ilustrado no Apêndice A.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A indústria é a parte da economia que produz bens materiais por processos altamente mecanizados e automatizados. Desde o início da industrialização, avanços tecnológicos têm levado a mudanças de paradigma que são chamadas de “revoluções industriais”. Dessa forma, teve-se a era da mecanização (máquinas a vapor), chamada primeira revolução industrial; o uso intensivo da energia elétrica, assim chamada segunda revolução industrial; e a digitalização generalizada, chamada terceira revolução industrial (LASI et al., 2014).

Suportada pela digitalização avançada dentro das fábricas, a combinação de tecnologias de internet e tecnologias orientadas para o futuro, no contexto de objetos (máquinas e produtos) “inteligentes”, parece resultar em uma nova mudança de paradigma fundamental na produção industrial. A visão futura da produção é baseada em sistemas de fabricação modulares e eficientes, caracteriza-se por cenários, nos quais os produtos controlam o seu próprio processo de fabricação. Assim, é possível a fabricação de produtos diferenciados em lotes de apenas um produto, mantendo as condições econômicas da produção em massa. Com essa expectativa futura, o termo “Indústria 4.0” foi criado baseado em uma quarta revolução industrial (LASI et al., 2014).

Um relatório de pesquisa realizada no *World Economic Forum* (WEF) teve o intuito de capturar as mudanças que ocorrerão na sociedade e encorajar as pessoas a se prepararem para elas. O *The Global Agenda Council* (2015) realizou essa pesquisa a respeito dos marcos tecnológicos (*technological tipping points*), em março 2015, sobre

o futuro de tecnologias de *softwares* e da sociedade. A visão de oitocentos especialistas do setor da tecnologia de informação e de comunicação foi capturada. Vinte e um marcos tecnológicos foram eleitos, dentre eles, as mudanças que estavam presentes foram: impressão 3D e manufatura, com o primeiro carro impresso 3D; impressão 3D e saúde humana, com o primeiro transplante de fígado impresso 3D; e impressão 3D e produtos de consumo, com 5% dos produtos de consumo impressos em 3D (GLOBAL AGENDA COUNCIL ON THE FUTURE OF SOFTWARE & SOCIETY, 2015). Dessa forma, os resultados da pesquisa realizada no WEF mostraram que, além de outras tecnologias, a impressão 3D estava entre os principais campos que irão afetar significativamente a vida do ser humano na quarta revolução industrial (CHUNG; KIM, 2016).

Até recentemente, a impressão 3D era usada quase exclusivamente para prototipagem. Porém, o mercado de prototipagem é relativamente pequeno - estimado na escala de 10 bilhões de dólares. Mas as grandes empresas estão dando seus primeiros passos em direção à produção em pequena escala e à produção em massa com impressão 3D (3D HUBS, 2019). O tamanho desses mercados é 10 a 100 vezes maior do que a prototipagem, abrindo novas oportunidades de crescimento. Segundo um relatório divulgado pela 3D Hubs (2019), maior rede mundial de serviços de manufatura aditiva, 23,5% é o crescimento médio anual previsto do mercado de impressão 3D para os próximos cinco anos.

O estudo de Kersten, See e Skirde (2014) teve como objetivo listar as megatendências que afetarão o projeto, implementação e controle dos sistemas logísticos. A MA foi apontada como uma tecnologia que pode impactar a logística, levando a uma diminuição da quantidade de produtos e/ou componentes a serem transportados. Assim, a MA tem o potencial de se tornar uma megatendência importante, que pode alterar as características do comércio global. Isto, obviamente, teria uma influência significativa no volume de produtos transportados, forçando os prestadores de serviços logísticos a desenvolver novos modelos de negócios (LEHMACHER, 2013¹ apud KERSTEN; SEE; SKIRDE, 2014).

Esta co-evolução entre tecnologia, modelo de negócios e cadeias de suprimentos (ou organização em geral) é um importante caminho para futuras pesquisas, enquanto

¹LEHMACHER, W. *Wie Logistikuser Lebenprägt. Der Wertbeitraglogistischer Lösungenfür Wirtschaft und Gesellschaft* von Wolfgang Lehmacher. Wiesbaden: Springer, 2013.

também possui implicações importantes para a prática. É preciso entender melhor como os desenvolvimentos gerais em tecnologia afetam os modelos de negócios existentes e futuros e vice-versa (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; MUITA; WESTERLUND; RAJALA, 2015). Muitos artigos preveem que esta tecnologia será uma ruptura que mudará drasticamente os modelos de negócios atuais (IVAN; YIN, 2017; PILKINGTON; FRANDBSEN; REHNBERG, 2016).

Embora os estudos discutam as implicações da MA no surgimento de novos modelos de negócios, alguns deles carecem de evidências empíricas e estão focados em apenas um elemento de um modelo de negócio, distribuição de valor, enquanto outros elementos (proposição de valor, criação de valor, captura de valor e comunicação de valor) são negligenciados. Além disso, em geral, esses estudos não fornecem uma descrição profunda sobre como e por que a 3DP está levando ao desenvolvimento de novos modelos de negócios (MONTES, 2016).

Dessa forma, percebe-se que enquanto a tecnologia de MA tem se desenvolvido rapidamente e existem muitos trabalhos na área técnica, as implicações nos negócios para as organizações adotarem e usarem a MA parece ter recebido pouca atenção na literatura acadêmica (BHATTACHARJYA et al., 2014; LAU; LEUNG, 2015). Além disso, poucas são as pesquisas que investigam as motivações e limitações da adoção dessa tecnologia (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017).

Tendo em vista a reflexão apresentada, esta tese visa preencher essa lacuna de pesquisa, respondendo ao seguinte questionamento: Qual a relação da manufatura aditiva com o modelo de negócio?

O modelo de negócio pode ser entendido como uma nova unidade de análise que enfatiza uma abordagem holística para explicar como as empresas fazem negócio (ZOTT; AMIT; MASSA, 2011). Foi adotado como *framework* de referência o modelo de negócio Canvas, o qual já está bem consolidado na literatura e engloba todos os elementos de um modelo de negócio nos blocos de construção (será explorado na subseção 2.3 Modelo de Negócio) (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010; OSTERWALDER; PIGNEUR; TUCCI, 2005). Este *framework* também foi usado em trabalhos recentes, como em Trkman, Budler e Groznik (2015), o qual deu enfoque na gestão da cadeia de suprimentos, e em Metallo et al. (2018), em que a tecnologia da Indústria 4.0 estudada foi a Internet das Coisas.

Derivadas da questão central, foram elaboradas algumas questões específicas (QE) a serem investigadas:

- QE1. Como a manufatura aditiva impacta os modelos de negócio das empresas?
- QE2. O que constitui um contexto (materiais, técnicas, etapas) de adoção da MA nas empresas?
- QE3. Quais as evidências contextuais e empíricas do impacto da adoção da manufatura aditiva no modelo de negócio?
- QE4. Quais são os pilares e blocos de construção do modelo de negócio que são impactados com a adoção da MA?
- QE5. Como as empresas são motivadas e limitadas a adotar a MA?

A partir da questão de pesquisa, o objetivo geral desta pesquisa foi explorar os impactos, motivações e limitações da adoção da manufatura aditiva no modelo de negócio das empresas. Para isso, uma teoria foi elaborada e refinada por meio da realização de revisão sistemática da literatura e estudo de caso múltiplo. Conforme proposto por Lau e Leung (2015), este trabalho pode contribuir para a compreensão das oportunidades potenciais da MA no setor industrial, sendo que, trazendo esses *insights*, poderá orientar pesquisadores e gestores a compreenderem melhor a necessidade e o processo de adoção da MA. Este é o primeiro estudo que aborda além dos impactos as motivações e limitações conjuntamente, a fim de trazer uma visão sistêmica do processo de adoção da MA. Assim, gestores poderão se basear neste estudo para detectar e potencializar suas motivações, identificar e tentar contornar suas limitações e obter um melhor aproveitamento dos impactos da adoção, que trazer benefícios para as empresas.

1.2 *RELEASE* METODOLÓGICO

Esta seção apresenta um posicionamento da abordagem de pesquisa e dos procedimentos metodológicos que foram utilizados para responder as questões de pesquisa supracitadas.

A abordagem de pesquisa é a conduta que orienta o processo de pesquisa, sendo uma forma de aproximar ou focalizar o fenômeno que se pretende estudar (MARCONI; LAKATOS, 2003). A abordagem de pesquisa pode ser: qualitativa, quantitativa e mista. Nesta pesquisa, optou-se pela abordagem qualitativa, pelas características apresentadas na ênfase nas empresas e nos entrevistados (MARTINS, 2010). Em estudos sobre o tema MA, a abordagem qualitativa é sugerida para pesquisas futuras (GRESS; KALAFSKY, 2015; HOLMSTRÖM et al., 2010; LI et al., 2017). Para Barratt, Choi e

Li (2011), no campo de pesquisa de gestão de operações, o estudo qualitativo é recomendado quando se busca o esclarecimento de algumas práticas gerenciais.

Essa abordagem de pesquisa tende a ser menos estruturada para ser possível captar evidências e interpretações subjetivas do objeto de estudo (COLLIS; HUSSEY, 2005; MARTINS, 2010). A pesquisa qualitativa, segundo Martins (2010), possibilita explicar o “como”, para entender os processos do fenômeno estudado. Além disso, a pesquisa qualitativa preocupa-se com a concepção da realidade e da dinâmica organizacional, envolvendo a proximidade com o fenômeno estudado em múltiplas fontes de evidências.

O método de pesquisa pode ser entendido como um ferramental para compreender e responder as questões de pesquisa delineadas em um estudo (GANGA, 2012). Os principais métodos de pesquisa utilizados na Engenharia de Produção, de acordo com Filippini (1997) e Berto e Nakano (2000) são: teórico conceitual, estudo de caso, levantamento tipo *survey*, modelagem e/ou simulação, pesquisa-ação, revisão da literatura e pesquisas experimentais.

A revisão da literatura consiste em buscar o conhecimento existente sobre uma questão a ser estudada. Tal conhecimento, previamente acumulado, pode ser acessado por meio de livros, revistas, publicações avulsas, imprensa escrita ou via internet. Segundo Neuman (2003), revisar a literatura é uma etapa essencial no processo de pesquisa, independente da abordagem adotada.

Este estudo inicia-se com um referencial teórico, dividido em duas partes. A primeira, intitulada de “Referencial Teórico Preliminar” (capítulo dois), aborda a Indústria 4.0, MA e Modelo de Negócio (MN), para uma melhor compreensão dos principais temas de pesquisa. Em seguida, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi realizada para levantar os impactos, motivações e limitações da adoção da MA pelas empresas do estudo de caso. O método da RSL proposto por Conforto et al. (2011) e Tranfield (2003) foram usados como base. A partir das publicações, foi possível sumarizar o conhecimento já existente sobre o tema estudado e identificar os *gaps* existentes, de forma a apontar direções para pesquisas na área. Dessa forma, foi possível definir os impactos da adoção da MA, e motivações e limitações da adoção identificados nas publicações.

Ao final da RSL, foi realizado um painel de especialistas (2013, 2017) a fim de categorizar os impactos, trazendo uma maior robustez aos resultados encontrados. Com isso, foi possível categorizar inicialmente os impactos da adoção da MA nos blocos de

construção do MN Canvas, com o intuito de melhor conduzir a parte empírica da pesquisa. Segundo Fleury (2010), é imprescindível definir um modelo teórico conceitual antes de fazer a pesquisa de campo, assim, a partir da RSL e do painel de pesquisadores, traçou-se um modelo teórico conceitual preliminar, o qual apresenta os conceitos inter-relacionados. No caso desse estudo, os conceitos inter-relacionados foram: impactos da adoção da MA no MN, motivações e limitações da adoção. A RSL e painel de especialistas são aprofundados no capítulo três.

A partir da concepção desses constructos foi possível, então, aplicar o método de pesquisa seguinte, com a finalidade de obter os dados empíricos. Para o desenvolvimento da pesquisa de campo, aplicou-se o método de estudo de casos múltiplos, o qual traz um enquadramento teórico para suportar a questão de pesquisa (BARRATT; CHOI; LI, 2011). Para Benbasat, Goldstein e Mead (1987), o estudo de caso é uma estratégia viável de pesquisa, pelos seguintes pontos fortes: (i) fenômeno pode ser estudado no seu contexto natural para entender sua prática; (ii) permite responder uma explicação profunda de um fenômeno complexo, além da questão por quê; (iii) ajuda a explorar quando as variáveis são desconhecidas ou o fenômeno não está compreendido. Nesta pesquisa, o contexto permite explorar os impactos da adoção da MA no MN, e motivações e limitações da adoção.

Para a triangulação das fontes de evidências, além das empresas e da literatura, entrevistas com profissionais do setor de MA também foram incluídos. Assim essa pesquisa utilizou uma abordagem multi-método. Como a pesquisa qualitativa permite ajustar o desenho e o escopo da pesquisa durante o curso do projeto de pesquisa com base nas descobertas iniciais (MAXWELL, 2013), a maioria desses profissionais foi entrevistada depois da realização do estudo de caso, para que o modelo teórico conceitual estivesse ainda mais robusto e refinado.

O estudo de casos múltiplos teve um propósito exploratório com objetivo de refinar a teoria (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). O tema de pesquisa tem poucos estudos anteriores (MONTES, 2016), o que reforça o caráter exploratório da pesquisa (COLLIS; HUSSEY, 2005). A pesquisa buscou um equilíbrio entre a explicação da literatura e a explicação prática, dado que a integração pode ser considerada uma prática emergente. Segundo Ketokivi e Choi (2014), o estudo de caso precisa desse equilíbrio na geração de proposições.

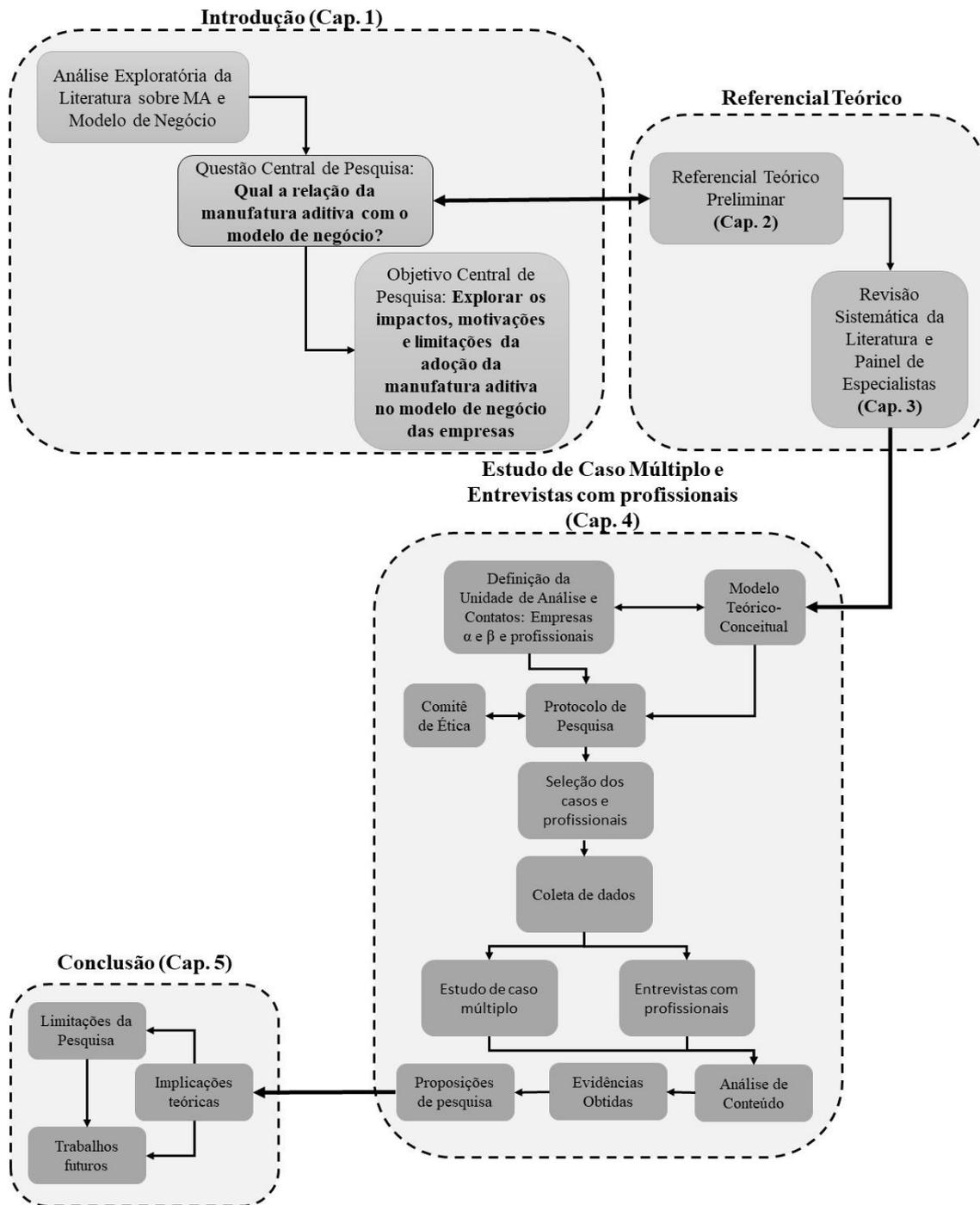
Foram selecionados estrategicamente dois casos da indústria aeronáutica para avaliar o impacto da MA no modelo de negócio dessas empresas, além de suas

motivações e limitações para a adoção. A justificativa pela escolha desse setor industrial foi rechaçada por Schniederjans (2017), uma vez que as indústrias desse setor parecem ter maior difusão da MA. Neste estudo de casos múltiplos são pesquisados os impactos da adoção da MA no MN, e suas motivações e limitações da adoção. Os processos que adotaram a MA foram a unidade de análise, em conjunto com as pessoas que participam dos projetos de MA nas empresas. Após a realização do estudo de caso foi possível refinar o modelo teórico conceitual da pesquisa. O detalhamento do método utilizado para a condução do estudo de caso é descrito no quarto capítulo.

A tese foi estruturada em formato de artigo, por isso, possivelmente, podem ocorrer redundâncias no conteúdo dos capítulos três (RSL) e quatro (Abordagem Multimétodo). No capítulo cinco, considerações finais são realizadas, para trazer um fechamento geral da pesquisa. A Figura 1.1 ilustra as etapas realizadas na pesquisa resumindo os métodos de pesquisa aplicados. O esquema representa as relações entre o Objetivo de pesquisa, as Questões respondidas, o Modelo Teórico Conceitual resultante da RSL, os Métodos teórico e empíricos aplicados, e os artifícios utilizados para garantir a validade e confiabilidade do estudo.

O Quadro 1.1 fornece uma visão geral sobre os métodos aplicados e a contribuição associada para encontrar respostas para as subquestões de pesquisa. Os detalhes sobre os métodos são explicados nos capítulos correspondentes.

Figura 1.1 – Release metodológico



Fonte: Proposta pela autora.

Quadro 1.1 - Visão geral dos métodos aplicados

Métodos de pesquisa	Propósitos	Resultados	Questões de pesquisa*	Capítulo
Referencial teórico preliminar	— Desenvolver uma base teórica sólida	— <i>Insights</i> sobre os conceitos da pesquisa: Indústria 4.0, MA e MN	1	2
Revisão sistemática da literatura	— Desenvolver uma base teórica sólida — Permitir o exame dos impactos, motivações e limitações	— Revê e resume o estado da arte atual da pesquisa sobre as questões investigadas nos estudos existentes — <i>Insights</i> sobre os impactos da adoção da MA nas empresas e suas motivações e limitações	1, 2, 3, 4 e 5	3
Opinião de especialistas	— Permitir o exame e categorização dos impactos no MN Canvas	— A opinião de especialistas concentrou-se nos pesquisadores e permitiu um inicial estudo de como os impactos da adoção da MA se relacionam com o MN		
Estudo de caso múltiplo	— Aumentar validade externa — Permitir o exame detalhado dos constructos — Aumentar a generalização com o segundo estudo de caso — Selecionar casos: adoção da MA e indústria aeronáutica — Analisar os resultados cruzados para generalização analítica	— <i>Insights</i> sobre os efeitos da adoção da MA no MN no nível individual — O estudo de casos permitiu estudar em detalhes os impactos da adoção da MA no MN e suas motivações e limitações	1, 2, 4 e 5	4
Entrevistas com profissionais	— Aumentar a validade interna — Permitir o exame dos impactos, motivações e limitações — Analisar os resultados cruzados para generalização analítica	— <i>Insights</i> sobre os impactos da adoção da MA no MN no nível setorial — Concentrou-se nos profissionais do setor de MA, para contrabalançar o domínio dos estudos dos impactos da adoção da MA no MN e suas motivações e limitações		

*Questões específicas (QE) da pesquisa:

QE1. O que constitui um contexto (materiais, técnicas, etapas) de adoção da MA nas empresas?

QE2. Como a manufatura aditiva impacta os modelos de negócio das empresas?

QE3. Quais as evidências contextuais e empíricas do impacto da adoção da manufatura aditiva no modelo de negócio?

QE4. Quais são os pilares e blocos de construção do modelo de negócio que são impactados com a adoção da MA?

QE5. Como as empresas são motivadas e limitadas a adotar a MA?

Fonte: Proposto pela autora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO PRELIMINAR

Este capítulo apresenta as definições de Indústria 4.0, Manufatura Aditiva e Modelo de Negócio. Assim, pôde-se capturar informações importantes sobre os temas, com o intuito de entendê-lo melhor, levantar informações pertinentes à pesquisa e, assim, definir conceitos para o desenvolvimento da revisão sistemática da literatura.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

Recentemente, a ideia de um mundo interconectado ganhou atenção do setor industrial e a visão de uma quarta revolução industrial está surgindo, popularmente conhecida como Indústria 4.0 (KANG et al., 2016). Ao contrário de todas as outras revoluções, esta está sendo prevista, permitindo que as empresas realizem ações específicas antes que ela realmente aconteça. As soluções de *hardware* e *software*, cada vez mais acessíveis, aceleram a transição para a fábrica inteligente e interconectada prevista por esta revolução (ALMADA-LOBO, 2015).

O termo Indústria 4.0, também conhecido como manufatura inteligente (*smart manufacturing*) (KANG et al., 2016), é um complexo conceito a ser definido (MOEUF et al., 2018). Este termo foi usado pela primeira vez para descrever uma estratégia de alta tecnologia proposta pelo governo alemão (KANG et al., 2016). Estudos recentes encontraram mais de cem definições diferentes da Indústria 4.0 (MOEUF et al., 2018).

Para Buer, Strandhagen e Chan (2018), a Indústria 4.0 é operacionalizada com o uso de produtos e processos inteligentes, o que permite a coleta e análise de dados autônomos, bem como a interação entre produtos, processos, fornecedores e clientes através da Internet. Erol e Sihm (2016) complementam que a Industry 4.0 refere-se à avanços tecnológicos recentes, em que a internet e as tecnologias de suporte (por exemplo, sistemas embarcados) servem como uma espinha dorsal para a integração de objetos físicos, atores humanos, máquinas inteligentes, linhas de produtos, e processos além dos limites organizacionais, para formar um novo tipo de cadeia de valor em rede, inteligente e ágil. Trappey et al. (2017) definiram a Indústria 4.0 como um conceito geral que permite a fabricação com os elementos da inteligência tática usando técnicas e tecnologias como Internet das coisas (*Internet of things - IoT*), computação em nuvem (*cloud computing*) e *big data and analytics (BDA)*.

O termo, Indústria 4.0, também é comumente usado para referir-se ao desenvolvimento de “sistemas ciber-físicos” (*cyber-physical systems - CPS*) e processos de dados dinâmicos que usam, massivamente, quantidades de dados para conduzir máquinas inteligentes (TRAPPEY et al., 2017). Assim, cada dia mais, dados estão sendo gerados pelos CPS, o qual integra a computação com objetos físicos (BENDUL; BLUNCK, 2019).

A Indústria 4.0 envolve, então, o surgimento e difusão de uma série de novas tecnologias industriais digitais, especialmente sensores embutidos, para que produtos e dispositivos inteligentes possam se comunicar e interagir uns com os outros (*IoT*); a coleta e avaliação em tempo real dos dados para otimizar os custos e a qualidade da produção (*BDA*); robôs com maior autonomia e flexibilidade; e técnicas avançadas de fabricação, tais como manufatura aditiva (RÜßMANN et al., 2015). Muitas dessas tecnologias digitais estão disponíveis há algum tempo, mas recentes reduções de custos e melhorias na confiabilidade significam que sua implantação para aplicações industriais é agora mais comercialmente viável, embora seja provável que essa implantação possa levar de quinze a vinte anos para ser plenamente realizada (DOMBROWSKI; DIX, 2018).

Dessa forma, potencialmente, a Indústria 4.0 pode trazer uma mudança de atividades de manufatura isoladas para fluxos automatizados, otimizados e totalmente integrados de produtos e dados dentro de cadeias de valor (globais) (STRANGE; ZUCHELLA, 2017). Está ainda em sua infância, e a implantação generalizada de muitas de suas tecnologias constituintes também está a alguns anos de distância. Apesar do fato de que as ferramentas da Indústria 4.0 podem exigir um grande investimento e um alto nível de especialização (RÜßMANN et al., 2015), ela parece ser mais flexível à medida que descentraliza a informação e a tomada de decisões. Além disso, os projetos da Indústria 4.0 podem ser uma oportunidade para mudar os processos (não apenas melhorar) e aproveitar novas oportunidades no mercado (MOEUF et al., 2018).

Com promessas de fabricar produtos personalizados com o mesmo custo que a produção em massa, a Indústria 4.0 ganhou popularidade significativa tanto na academia quanto no setor industrial. Empresas de todo o mundo estão investindo quantias consideráveis na investigação de como podem se beneficiar desse paradigma emergente de manufatura baseada em tecnologia (BUER; STRANDHAGEN; CHAN, 2018). Sendo assim, características desse conceito, dentro outras, incluem a

virtualização, a descentralização e a construção de redes, poderiam mudar o cenário da manufatura (MORADLOU; BACKHOUSE, 2016).

A Indústria 4.0 abarca uma ampla gama de conceitos atuais, cuja classificação clara sobre um aspecto, bem como sua distinção precisa, não é possível em casos individuais (LASI et al., 2014). Porém, Rüßmann et al. (2015) listam nove tecnologias fundamentais (*big data and analytics*; robôs autônomos; simulação; integração horizontal e vertical de sistemas; internet das coisas; segurança cibernética; nuvem; manufatura aditiva; e realidade aumentada), as quais são os blocos de construção da Indústria 4.0. Para a realização dessa revolução, essas tecnologias que envolvem várias áreas, estão sendo desenvolvidas e aplicadas em locais de fabricação (KANG et al., 2016).

O surgimento de novas tecnologias de fabricação orientadas para facilitar a produção local agrega valor adicional. Por exemplo, Manufatura Aditiva (MA), incluindo impressão 3D, tornou-se um dos instrumentos da Indústria 4.0. Programas de pesquisa e desenvolvimento relacionados à manufatura nos EUA e Coréia do Sul concentram-se nas principais atribuições das tecnologias, incluindo a MA, para responder de forma agressiva à mudança inovadora do ambiente de manufatura, chamada de quarta revolução industrial (KANG et al., 2016).

A implementação de iniciativas da Indústria 4.0 e a avaliação do seu impacto nos processos internos devem ser mais investigadas. A definição de novos modelos de negócios, bem como o processo de implementação de iniciativas da Indústria 4.0, precisam ser mais estudados (MOEUF et al., 2018). Pesquisas futuras devem se concentrar nas práticas gerenciais, estratégias e mudanças organizacionais necessárias para colher mais benefícios da MA e de outras tecnologias da Indústria 4.0 (MONTES, 2016). Este estudo concentra-se nesta tecnologia, a qual é considerada parte da Indústria 4.0 (IVAN; YIN, 2017). Sendo assim, nesta pesquisa os impactos da adoção da MA são investigados sob a óptica de modelo de negócios.

2.2 MANUFATURA ADITIVA

Esta subseção apresenta a definição de MA; a sua evolução, com as técnicas, materiais e aplicações existentes; bem como as etapas do processo de MA.

2.2.1 Definição de MA

A impressão tridimensional (3D) é a fabricação de objetos por meio de deposição de material utilizando uma cabeça de impressão, bocal ou outra tecnologia de impressão (ASTM, 2013). Esse termo é frequentemente usado como sinônimo de Manufatura Aditiva (MA), porém ela é um processo mais amplo que a impressão 3D. A MA emprega o processo de impressão 3D para unir materiais, em que os produtos são construídos, camada sobre camada, em uma base, através de uma série de cortes transversais, a partir de dados de um modelo 3D (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; BERMAN, 2012; COZMEI; CALOIAN, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MA, 2013). O reconhecimento das vantagens desta tecnologia tem levado ao uso dos termos Manufatura Aditiva (MA) e impressão 3D, principalmente na indústria de fabricação e pelo público em geral (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

O processo de MA difere dos processos de produção tradicionais, de uma maneira fundamental, não é subtrativo, e isso o torna uma tecnologia “disruptiva” (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). Tradicionalmente, a maioria dos processos de fabricação (fundição, usinagem, moldagem, entre outros) (COZMEI; CALOIAN, 2012) criam produtos tridimensionais, através da fabricação “subtrativa”, em que o material indesejável ou sobressalente é removido para se chegar ao produto desejado (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). A MA, por outro lado, é a impressão de um produto completo ou parte de um produto, através da utilização de materiais que são depositados dentro dos limites da impressora. Dependendo da impressora e dos materiais, estas máquinas não só podem criar objetos sem encaixes, mas também moldar formas complexas que podem resultar em um produto final ou em uma peça que pode ser integrada em um conjunto com outros itens (GRESS; KALAFSKY, 2015).

Mesmo existindo vários sinônimos que são usados na literatura (Apêndice A) (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; ASTM, 2013), nessa pesquisa sempre será utilizado Manufatura Aditiva (MA), a qual envolve também a impressão 3D, mesmo

que outros autores tenham utilizado outro termo (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010; HOLMSTRÖM et al., 2016).

2.2.2 Evolução da MA

A adoção de tecnologias de MA é um processo que corresponde a diferentes usos. O motivo disso relaciona-se tanto com a própria tecnologia (em particular com os materiais utilizados), como com o custo de uso (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Na década de 1980, a MA foi inicialmente utilizada para fins de prototipagem (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; LAU; LEUNG, 2015), resultado do avanço da tecnologia de Estereolitografia (*Stereolithography – SLA*) (LAU; LEUNG, 2015).

Para Rayna e Striukova (2016), as primeiras tecnologias de MA apareceram no final da década de 1980 e começaram a funcionar no início da década de 1990. Estas foram além da Estereolitografia (*SLA* da 3D Systems), a Sinterização seletiva de laser (*Selective laser sintering – SLS* da Desk Top Manufacturing Corporation), Fabricação por filamento fundido (*Fused Filament Fabrication - FFF*) (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015) ou Modelagem por deposição fundida (*Fused deposition modelling – FDM* da Stratasys) e Fabricação de objetos laminados (*Laminated object manufacturing – LOM* da Helisys). Todas estas tecnologias ainda existem hoje, com exceção da *LOM*, talvez porque gerava muito desperdício de material (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

As técnicas estão disponíveis para diferentes tipos de materiais, o *SLA* usa a luz - normalmente a partir de um laser ultravioleta - para transformar resinas químicas, como polímeros líquidos (foto polímeros), em sólidos (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). O *FFF* ou *FDM* não necessita de uma fonte de luz, o material derretido simplesmente se torna sólido quando emerge do bocal de impressão. Este bocal passa por cima de uma plataforma de construção para adicionar ou depositar camadas do material. Ambos os métodos são de construção de camada sobre camada até que o produto final esteja concluído. O *SLS* funde as camadas de material em pó, tais como pó de aço inoxidável. Depois que o pó é pré-aquecido na camada de pó, a impressora 3D a laser aumenta a temperatura do pó nas regiões

desejadas, ao seu ponto de fusão, para criar e unir as camadas do objeto desejado (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

O nível de detalhes e a qualidade do acabamento eram bastante baixos, o que significava que apenas objetos ásperos poderiam ser impressos. A impressão era lenta, cara e restrita a pequenos objetos, e apenas os plásticos podiam ser usados. Conseqüentemente, a primeira aplicação de tecnologias de MA foi a prototipagem rápida, ou seja, a capacidade de construir rapidamente modelos de peças (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Sendo assim, a MA era usada para fazer protótipos de produtos nas fases iniciais do desenvolvimento de uma forma rápida e automatizada (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

A Prototipagem Rápida (PR) é, então, a impressão 3D de um projeto, muitas vezes para testes interativos de forma, encaixe ou funcionalidade, ou uma combinação destes (ASTM, 2013). Ou seja, é a utilização da MA com finalidade de realizar ensaios e experimentos (BERMAN, 2012). Embora a PR tenha sido inicialmente usada principalmente pelas grandes corporações, a redução progressiva do preço levou à uma ampla adoção. A qualidade da prototipagem também melhorou e, hoje, há impressoras capazes de construir protótipos multimateriais totalmente funcionais de uma só vez (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

No início de 1990, o desenvolvimento de técnicas, tais como *SLS* e *FDM*, resultou na tecnologia de MA sendo utilizada em vários setores e outras aplicações começaram a ser identificadas e utilizadas (LAU; LEUNG, 2015). Bogers, Hadar e Bilberg (2016) fizeram um estudo de comparação das tecnologias de MA na indústria de plástico, alguns parâmetros foram considerados e os resultados mostraram que a FFF ou FDM e, em seguida, a SLS, apresentam maior vantagem em relação às outras tecnologias.

Depois de alguns anos, teve-se o aprimoramento da técnica *FDM*, que ficou conhecida como Deposição por gota (*Droplet-based deposition*), com o desenvolvimento da impressão 3D de cerâmica da Solidscape, a PolyJet da Objet e a 3D printing licenciada pelo MIT. Isso alavancou o crescimento da *expertise* da indústria da MA para fornecer uma opção para prototipagem rápida potencialmente de baixo custo (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012). Esse método foi baseado na tecnologia *inkjet*, a qual abriu novas perspectivas na fabricação rápida e tem transformado a forma como alguns produtos são feitos (COZMEI; CALOIAN, 2012).

Após a introdução inicial das tecnologias na PR, o desenvolvimento tem sido principalmente incremental. Fundamentalmente, a tecnologia de MA pouco mudou nos últimos anos. As máquinas atuais baseiam-se principalmente na tecnologia *FDM*, uma vez que os projetos estão geralmente disponíveis e o processo é o mais fácil para sinterizar o material (*Acrylonitrile Butadiene Styrene – ABS* e *Polylactic Acid - PLA*). No entanto, podemos esperar que a tecnologia baseada em gota se torne amplamente disponível nos próximos anos (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Na segunda metade da década de 1990, com o advento das impressoras 3D usando polímeros resistentes ao calor (*nylon*) e ligas de metal (titânio, alumínio, aço inoxidável) desencadeou a segunda etapa de adoção da MA: Ferramental Rápido (FeR). Os processos de fabricação tradicionais sempre exigiram ferramentas personalizadas: gabaritos, máscaras, equipamentos e moldes. Essas ferramentas são tradicionalmente construídas por usinagem (fabricação subtrativa) de aço ou alumínio, um caro e demorado processo. Neste contexto, os erros podem ser bastante onerosos e há pouca flexibilidade em termos de melhoria ou atualizações dos objetos fabricados (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). A MA começou, então, a ser usada como um complemento à fabricação tradicional, com a impressão de ferramentas para auxiliar esse processo (RAYNA; STRIUKOVA, 2016; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; SISCA et al., 2016).

No início dos anos 2000, a MA começou a crescer (LAU; LEUNG, 2015). A PR trouxe muitos benefícios, levando a economias e oportunidades significativas (por exemplo, produção de baixo volume e atualizações frequentes). No final dos anos 2000, o custo da MA começou a ser suficientemente baixo (e qualidade suficiente) para começar a fabricar produtos finais diretamente com impressoras 3D (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Assim, iniciou-se a terceira onda de adoção, geralmente chamada de Manufatura Digital Direta (*Direct Digital Manufacturing - DDM*) (HOLMSTRÖM et al., 2016) ou Manufatura Direta (HOLMSTRÖM et al., 2010; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016) ou, simplesmente, Manufatura Rápida (MR) (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; SISCA et al., 2016). Isto implicou em um processo de produção totalmente digital, com produtos finais fabricados diretamente usando modelos digitais (CAD) e impressoras 3D, sem moldes ou usinagem.

Embora já esteja disponível há vários anos, a adoção da MR aumentou significativamente recentemente, em parte devido ao aumento das plataformas *online* de MA (como a Thingiverse²). Algumas dessas plataformas permitem aos usuários fazer o *upload* de arquivos CAD (*Computer-aided design*), que são usados para fabricar objetos impressos 3D e são enviados aos usuários. Outros operam em mercados *online*, onde os *designers* podem fazer o *upload* de modelos 3D, em que os usuários podem comprar, imprimir em 3D e entregar (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

A quarta etapa de adoção, fabricação em casa, acaba de começar. Envolve consumidores (ou usuários finais) usando equipamentos de impressão 3D, que eles têm em casa. Porém, as vendas de impressoras pessoais 3D ainda são baixas, em comparação com outros produtos eletrônicos de consumo. Assim, é esperada uma adoção limitada e lenta nesta fase, já que os preços ainda são altos e a tecnologia ainda é imatura (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Contudo, não significa que os usuários têm de possuir uma impressora em casa. A impressão de metais, por exemplo, requer impressoras 3D de capital alto, que não são investimentos viáveis para o usuário comum. Uma alternativa é enviar o projeto para imprimir em locais como *Shapeways*³ ou *Kraftwurx*⁴, que imprimem e enviam os objetos 3D. Outra opção é consultar o serviço *online* da *3DHubs*⁵ e da *MakeXYZ*⁶ para encontrar vizinhos (*hubs*) que irão compartilhar as suas impressoras 3D de graça ou por uma taxa simbólica (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

Outra aplicação da MA, identificada por Sisca et al. (2016), cada vez mais rentável para as empresas, envolve as atividades de Reparo e Manutenção (R&M) de produtos industriais existentes. Esta atividade é muito conveniente nos casos em que

² O *Thingiverse* da *MakerBot* é uma comunidade de *design* próspera para descobrir, fazer e compartilhar coisas imprimíveis em 3D. Como a maior comunidade de impressão 3D do mundo, acreditamos que todos devem ser incentivados a criar e remixar itens em 3D, independentemente de sua experiência técnica ou experiência anterior. No espírito de manter uma plataforma aberta, todos os *designs* são incentivados a serem licenciados sob uma licença *Creative Commons*, o que significa que qualquer pessoa pode usar ou alterar qualquer *design*. **Fonte:** Traduzido de <https://www.thingiverse.com/about/>

³*Shapeways* é um serviço de impressão em 3D, em que você pode transformar seus projetos digitais em produtos reais e vendê-los. **Fonte:** <http://www.shapeways.com/how-shapeways-works>

⁴*Kraftwurx* é uma plataforma de e-commerce para a impressão 3D, fornecendo os recursos necessários para abrir uma loja e começar a oferecer impressão 3D. **Fonte:** <http://www.kraftwurx.com/how-additive-manufacturing-works>

⁵*3D Hubs* é a maior rede mundial de *Hubs* de produção. Com serviços conectados em mais de 140 países, encontraremos o serviço de fabricação mais rápido e competitivo em preço mais próximo de você. **Fonte:** Traduzido de <https://www.3dhubs.com/how-to>

⁶*Make XYZ* permite imprimir os projetos em 3D com um serviço de impressão 3D perto do usuário. As impressões são de qualidade a um preço justo com impressoras em cem cidades, assim o objeto é impresso localmente. **Fonte:** <https://www.makexyz.com/>

produtos grandes precisam ser consertados ou montados, e para os quais é difícil aplicar uma lógica de peças de reposição. Nestes casos, o componente danificado é substituído por peças impressas a partir da MA.

O Quadro 2.1 resume os diferentes estágios de adoção das tecnologias de MA. Usadas originalmente principalmente para a Prototipagem Rápida, as tecnologias de MA têm sido progressivamente usadas em grande parte nos processos de fabricação. À medida que a tecnologia melhorou, tornou-se possível usar impressoras 3D não só para protótipo, mas também para fabricar ferramentas e moldes usados na fabricação "tradicional". Em seguida, tornou-se possível e econômico, em alguns casos, fabricar inteiramente produtos finais com impressoras 3D. O advento das impressoras 3D pessoais possibilitou a fabricação em casa, passando assim para a fase de distribuição (física) (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Finalmente, o reparo e manutenção de equipamentos é também uma aplicação da MA, para agilizar o acesso a peças de reposição (KHAJAVI; PARTANEN; HOLMSTRÖM, 2014; SIRICHAKWAL; CONNER, 2016).

Quadro 2.1 - Estágios de adoção da MA e envolvimento resultante na produção

Estágios de adoção	Início	Design	Ferramental	Manufatura	Distribuição
Prototipagem rápida	Início dos anos 90	√			
Ferramental rápido	Final dos anos 90	√	√		
Manufatura rápida	Final dos anos 2000	√	√	√	
Fabricação em casa	Início dos anos 2010	√	√	√	√
Manutenção e reparo	Final dos anos 2010	√	√	√	√

Fonte: Adaptado de Sisca et al. (2016) e Rayna e Striukova (2016).

É importante notar que cada nova fase não torna a anterior obsoleta, mas, ao invés disso, a estende (RAYNA; STRIUKOVA, 2016), já que a tecnologia ainda está sendo usada em grande parte para fins de prototipagem (BERMAN, 2012; BHATTACHARJYA *et al.*, 2014). Contudo, a aplicação atual da tecnologia vai muito além da criação de protótipos (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012), tem havido um maior número de produtos acabados produzidos (LAU; LEUNG, 2015). Além disso, a fabricação em casa e o reparo e manutenção, ampliam o papel da MA além da fabricação, as impressoras em casa permitem usar a MA para uma distribuição de produtos (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

A próxima subseção abordará as etapas da MA.

2.2.3 Etapas da MA

Percebe-se que a MA foi submetida a um processo de evolução trifásica. Na primeira fase, arquitetos, artistas e *designers* de produtos utilizaram a tecnologia de impressão 3D para fazer protótipos de novos projetos. A segunda fase evolutiva da MA envolve a sua utilização na criação de produtos acabados. Este estágio é muitas vezes referido como “ferramental rápido” (*rapid tooling*) e “fabricação digital direta” (*direct digital manufacturing*). Uma aplicação nesta fase é o aumento do lote de produção que engloba a fabricação de produtos para serem usados em testes no mercado. Com isso, vários protótipos - diferentes tamanhos, estilos e cores - podem ser mais facilmente produzidos e testados no mercado (BERMAN, 2012).

Na terceira fase, as impressoras 3D são de propriedade e utilizadas por consumidores finais. Aplicações em artes e peças de reposição são aspectos importantes desta fase. Em alguns casos, as peças de reposição têm sido produzidas por fornecedores terceirizados que utilizam desenhos fornecidos pelo fabricante dos produtos (BERMAN, 2012).

Nos anos 80, 90 e início dos anos 2000, a MA evoluiu dentro dos limites dos departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de um pequeno oligopólio de empresas (por exemplo, 3D Systems, zCorp, Stratasys e Objet Geometries), levando a algumas variações em termos de resolução, disponibilidade de cores e tempo necessário para impressão. Dessa forma, em geral, as impressoras 3D comerciais são limitadas em termos de aplicabilidade para manter a qualidade e a confiabilidade, enquanto as impressoras 3D de código aberto (*open source*) são mais flexíveis, conforme mostrado no Quadro 2.2. Notavelmente, embora ambas as impressoras 3D convencionais imprimam em uma variedade de materiais, incluindo cerâmica e metal, a grande maioria está limitada à impressão em plástico. Com o custo da MA diminuindo, as principais empresas agora também oferecem impressoras 3D de baixo custo (menos de dois mil dólares) capazes de imprimir em plástico de maneira limitada (por exemplo, somente em um plástico, que a empresa disponibiliza em um cartucho) (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

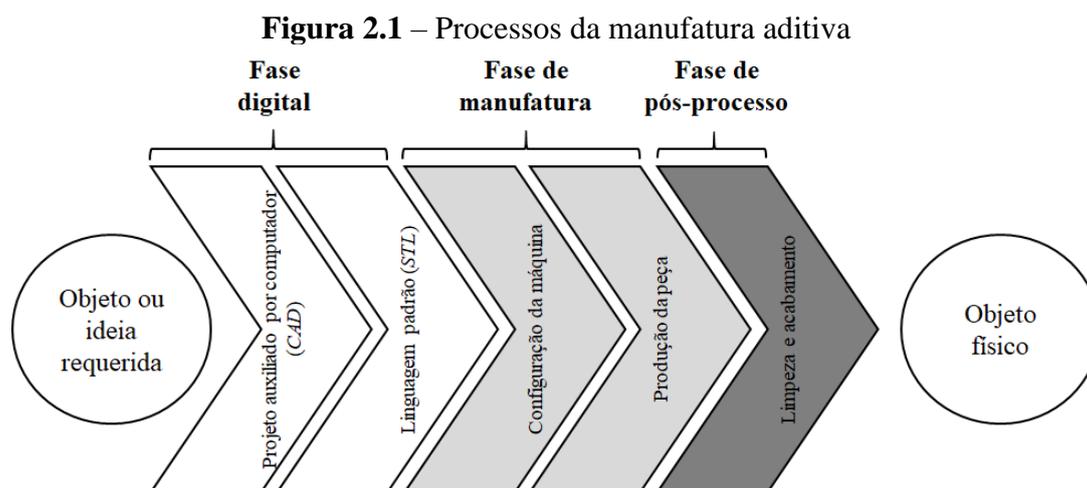
Quadro 2.2 – Tecnologia de MA patenteada *versus* código aberto

Tecnologia 3D patenteada	Tecnologia 3D código aberto
Evolução técnica em vários anos	Melhorias semanais
Impressoras 3D em plástico > 20 mil dólares	RepRaps < 400-3 mil dólares
Proprietária da matéria-prima (mesmo quando é plástico comum)	Ampla variedade de matéria-prima (mesmo resíduos de plástico)

Fonte: Traduzido de Laplume, Petersen e Pearce (2016).

Com isso, verifica-se que tem havido melhorias dramáticas na tecnologia que justifica a transição da PR para outras aplicações. Esta transição é o culminar de uma série de acontecimentos evolutivos em materiais e processos combinados com a redução dos custos da tecnologia que tem servido para torná-la disponível para uma gama mais ampla de usuários. No entanto, também tem havido uma mudança na mentalidade dos usuários que abriram seus olhos para novas aplicações ou, até mesmo, como uma tecnologia substituta mais eficaz nas aplicações existentes (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Embora exista uma variedade de diferentes técnicas de MA, todas seguem o mesmo padrão. Conforme mostrado na Figura 2.1, os processos de MA podem ser divididos em três etapas fixas, nomeadas: digital ou *design*, manufatura ou impressão e pós-processo (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). Essas etapas são descritas a seguir:



Fonte: Traduzido de Romero-Torres e Viera (2016).

⁷ O projeto RepRap foi inventado por Adrian Bowyer em 2004, mas tornou-se amplamente conhecido em 2005. A palavra RepRap é a abreviação de *Replicating Rapid-Prototyper*. Foi a primeira das impressoras 3D de baixo custo e iniciou a revolução da impressora 3D de código aberto. Fonte: <https://reprap.org/wiki/About>

i. Digital ou *Design*: Inclui duas atividades principais, o Projeto assistido por computador (*Computer-aided design – CAD*) e Linguagem padrão de triângulo (*Standard Triangle Language - STL*) (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). Assim, os usuários podem criar novos desenhos 3D por meio de uma ampla gama de Projeto assistido por computador (*CAD*), Fabricação assistida por computador (*Computer-aided manufacturing - CAM*) ou programas de modelagem por animação (BERMAN, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Como alternativa, os usuários podem digitalizar automaticamente um modelo de um objeto existente com *scanner* ou usando serviços dedicados por algumas das plataformas de impressão 3D de fornecimento *online* (por exemplo, Thingiverse, Shapeways ou Sculpteo) (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Uma vez que a fase de *design* estiver concluída, o projeto é exportado para extensão de arquivo *STL*, que é o modo de impressão em 3D legível (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

ii. Manufatura ou Impressão: Inclui duas atividades principais, a Configuração (*set-up*) da máquina e Produção da peça (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). Uma vez que o *design* é completado, a peça é convertida em camadas individuais em duas dimensões (2D) (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015), que são impressas uma por vez (camada sobre camada) (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MA, 2013; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Mas antes da impressão, faz-se necessário a configuração da máquina, por exemplo, dependendo do material a ser impresso, o bocal de impressão tem que ser trocado. Assim, algumas configurações devem ser ajustadas.

iii. Pós-processo: O formato dos objetos impressos pode ser o objetivo principal da MA, assim o tratamento de superfície é muitas vezes secundário (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). Contudo, às vezes, os objetos devem passar por outros procedimentos de fabricação para melhorar suas propriedades, além do processo de limpeza (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). Para muitas peças as impressoras 3D também podem rebarbar, lixar, polir, selar e pintar os objetos, mas algumas operações requerem pós-processamento separadamente para criar o objeto final (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

Cada uma dessas etapas do processo de MA oferece ao usuário uma série de alternativas (KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). Com isso, só após a realização

de todas essas etapas, o processo de MA é finalizado, transformando a ideia requerida no objeto físico (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

Ao contrário da crença popular, a MA não envolve apenas a produção de produtos de polímero, embora seja a matéria-prima mais barata. Várias matérias-primas podem ser utilizadas por diferentes métodos de MA, incluindo polímeros, resinas epóxi, cerâmicas, cera, pós, óleos e nutrientes, bem como ligas metálicas, titânio, prata, aço inoxidável, couro, arenito e materiais que imitam células humanas (BERMAN, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MA, 2013). Como os usuários exigem cada vez mais da tecnologia, os desenvolvedores estão investindo em técnicas e materiais cada vez mais avançados (FORD, 2014).

Os materiais têm, desde o início da tecnologia, sido uma força motriz importante para o desenvolvimento da MA. Assim como nos processos de fabricação tradicionais, a escolha inicial do material está vinculada às restrições do processo. As resinas epóxi fotossensíveis foram utilizadas pela *SLA*; cristais em pó e polímeros semicristalinos para *SLS*; papel adesivo para fabricação por camada; pastas de baixa viscosidade para impressão de deposição por gota e termoplásticos (*Acrylonitrile Butadiene Styrene – ABS* e *Polylactic Acid - PLA*) para *FDM*. Além disso, a MA exige, muitas vezes, a incorporação de aditivos entre as camadas impressas para melhorar as propriedades mecânicas das peças resultantes (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Os altos custos de materiais atualmente limitam o uso da MA em aplicações quando a velocidade ou privacidade é crítica (BERMAN, 2012). Aumentar o desenvolvimento da tecnologia de fabricação de material melhorará significativamente os produtos industriais e a capacidade de inovação de produtos ao consumidor (MA, 2013). No futuro, alguns especialistas acham que a gama de produção eficiente pode ser ainda maior, porque os custos de matérias-primas vão cair. Isso ocorrerá à medida que mais empresas utilizarem a MA para produzir bens acabados e os consumidores finais começassem a comprar impressoras 3D (BERMAN, 2012).

A pesquisa científica tem relatado os desafios em engenharia e tecnológicos para melhorar os materiais utilizados, a velocidade da máquina, os programas de CAD e a confiabilidade do produto. Sendo assim, a maioria dos artigos publicados está se concentrando nas perspectivas da engenharia e técnica (LAU; LEUNG, 2015). A partir disso, todas as tecnologias comerciais atuais têm trazido melhorias na velocidade de impressão, na precisão da peça e nas propriedades do material. O crescente interesse e a aplicação na indústria têm levado a reduções nos custos operacionais e dos

equipamentos, bem como um aumento na gama de aplicações. Por isso, a regulamentação da MA na indústria é evidenciada pelo desenvolvimento de padrões através da *American Society for Testing and Materials (ASTM)* e da *International Standards Organization (ISO)* (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Há, atualmente, um enorme interesse na tecnologia que tem levado a uma tentativa inovadora de explorar a tecnologia para aplicações além do âmbito da indústria tradicional. No entanto, acredita-se que um fator crítico para o sucesso a longo prazo da MA seria sua capacidade de cumprir os requisitos definidos pela indústria tradicional de transformação. Um desenvolvimento paralelo nas tendências do mercado e nos requisitos do produto também levou a um leque maior de oportunidades para a MA. Sendo assim, os profissionais das empresas de manufatura devem levar em consideração os materiais a serem processados, o tamanho do produto, a velocidade de produção, as características mecânicas, a precisão dimensional e o acabamento superficial, para determinar se a MA é compatível com os seus negócios (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015).

Como a MA progride, no futuro, vai ganhar mais práticas (LAU; LEUNG, 2015) e aplicações disseminadas (BERMAN, 2012). Com o desenvolvimento, ao longo do tempo, nas etapas de *design*, impressão e pós-processamento, assim como o desenvolvimento da tecnologia de fabricação tradicional, somada com a mente humana, tudo poderá ser impresso, sendo seu desenvolvimento potencial ilimitado. A MA tornou-se, então, uma importante direção de desenvolvimento da tecnologia de fabricação avançada, com ampla perspectiva de desenvolvimento e, conseqüentemente, enormes desafios (MA, 2013).

2.3 MODELO DE NEGÓCIO

Para Morris, Schindehutte e Allen (2005), nenhuma definição aceita do termo “modelo de negócio” (MN) tinha surgido até então. O domínio é nebuloso e vago e ainda está em sua fase de conceituação, apesar de sua importância ser percebida (AL-DEBEI; AVISON, 2010). A diversidade nas definições disponíveis coloca desafios substantivos para delimitar a natureza e os componentes e determinar o que constitui um bom modelo (MORRIS; SCHINDEHUTTE; ALLEN, 2005). Porter (1991) não é específico sobre o conteúdo dos componentes de um modelo de negócio, mas “modelo” resume seus modelos anteriores e acrescenta as relações causais entre as condições

iniciais, as escolhas gerenciais e o sucesso da empresa. Os modelos abordam, assim, de forma implícita ou explícita, as competências internas subjacentes às vantagens competitivas das empresas (BARRINGER; IRELAND, 2006).

O “modelo” engloba a visão baseada em recursos (*resource based view - RBV*), que destaca a natureza complementar do ponto de vista baseado na causalidade (PORTER, 2001). Isso é consistente com a teoria *RBV*, em que a empresa é vista como um conjunto de recursos e capacidades (BARNEY; WRIGHT; KETCHEN, 2001).

O conceito de modelo de negócio não tem base teórica estabelecida em economia ou em estudos de negócios (TEECE, 2010). Este termo é usado com frequência para descrever os principais componentes de um determinado negócio. Nas pesquisas da área de negócios, o conceito é usado de forma mais escassa, mesmo que as pesquisas de estratégias abranjam muitos, se não todos os componentes teóricos, os quais estão incluídos no conceito de modelo de negócio (HEDMAN; KALLING, 2003).

Com a percepção da grande importância do MN, têm havido um crescente interesse (desde o momento em que a modelagem de negócios alcançou proeminência, no final da década de 1990, até o crescimento das empresas de alta tecnologia atualmente) para delinear o conceito e fornecer maior entendimento (AL-DEBEI; AVISON, 2010). A discussão sobre o MN ganhou considerável atenção de estudiosos de negócios e de profissionais desde o surgimento dos negócios “*dot.com*” (HEDMAN; KALLING, 2003). Pesquisadores já analisaram o conceito de MN no contexto de diferentes domínios e tem havido algumas tentativas de desenvolver esquemas de classificação específicos para certos setores (AL-DEBEI; AVISON, 2010). Por isso, o modelo de negócio tornou-se cada vez mais popular na literatura dos sistemas de informação, gestão e estratégia (HEDMAN; KALLING, 2003).

No nível mais rudimentar, o MN é definido apenas em termos do modelo econômico da empresa. A preocupação é com a lógica da geração de lucros. As variáveis de decisão relevantes incluem fontes de receita, metodologias de precificação, estruturas de custos, margens e volumes esperados (MORRIS; SCHINDEHUTTE; ALLEN, 2005). O MN parece estar fortemente conectado com os projetos econômicos e financeiros das organizações. No entanto, acredita-se que o MN é mais abrangente e que o valor financeiro representa apenas uma dimensão de todo o conceito. Em retrospecto, é mais evidente agora que o conhecimento sobre o MN é desarticulado e pouco claro. Isso mantém e provavelmente aumenta, a visão borrada do MN e sustenta o conhecimento fragmentado (AL-DEBEI; AVISON, 2010).

A preocupação de que o conceito é ainda difuso e mal definido e o fato de suas funções práticas ainda não estarem claramente definidas, destacou a necessidade de uma estrutura conceitual que integre as visões existentes e as análises para adicionar novos conhecimentos extraídos (AL-DEBEI; AVISON, 2010). Baseado em Bonazzi e Zilber (2014) e Zott, Amit e Massa (2011), o Quadro 2.3 traz algumas definições encontradas na literatura e a partir dele, percebe-se que o MN vai muito além das questões apenas econômicas da empresa.

Independentemente da perspectiva adotada, identifica-se a existência de uma linha comum entre os diferentes autores listados: muitos concordam que a conceituação de modelo de negócio estrutura-se essencialmente nos fundamentos da proposta de valor (criação ou proposição ou oferta) (AMIT; ZOTT, 2001; JOHNSON; CHRISTENSEN, CLAYTON M. KAGERMANN, 2008; MORRIS; SCHINDEHUTTE; ALLEN, 2005; OSTERWALDER; PIGNEUR; TUCCI, 2005; PLÉ; LECOCQ; ANGOT, 2010; RAJALA; WESTERLUND, 2007; TEECE, 2010; ZOTT; AMIT; MASSA, 2011), e a entrega de valor (JOHNSON; CHRISTENSEN, CLAYTON M. KAGERMANN, 2008; MAGRETTA, 2002; OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010; OSTERWALDER; PIGNEUR; TUCCI, 2005) por parte da organização. Adicionalmente, Osterwalder e Pigneur (2010) incluem também a captura de valor, a qual tem relação direta com a dimensão econômica e financeira das empresas.

Quadro 2.3 – Definições de MN encontradas na literatura

Autores	Definições MN
Al-Debei e Avison (2010)	Representação abstrata de uma organização, seja conceitual, textual e/ou gráfica, de todos os principais arranjos arquitetônicos, co-operacionais e financeiros inter-relacionados projetados e desenvolvidos por uma organização atual e no futuro, assim como todos os produtos e/ou serviços principais que a organização oferece ou oferecerá, com base nesses arranjos necessários para atingir suas metas e objetivos estratégicos.
Amit e Zott (2001)	O conteúdo, a estrutura e a governança das transações projetadas de forma a criar valor através da exploração de oportunidades de negócio
Boons e Lüdeke-Freund (2013)	Uma ferramenta de desenvolvimento para arquiteturas de sistemas e de negócios para representar, planejar e estruturar negócios com a ênfase na eficiência organizacional
Johnson, Christensen e Kagermann (2008)	Consiste em quatro elementos interligados, que, juntos, criam e entregam valor.
Magretta (2002)	Histórias que explicam como as empresas funcionam. Um bom modelo de negócio responde às perguntas antigas de Peter Drucker: quem é o cliente? E o que o cliente valoriza? Também responde às perguntas fundamentais que todo gerente deve fazer: Como ganhamos dinheiro nesse negócio? Qual é a lógica econômica subjacente que explica como podemos entregar valor aos clientes a um custo adequado?
Morris et al. (2005)	Representação concisa de como um conjunto inter-relacionado de variáveis de decisão nas áreas de estratégia de risco, arquitetura e economia é abordado para criar vantagem competitiva sustentável em mercados definidos. Descreve a proposta de valor única de uma empresa (o conceito de negócio), como a empresa usa sua vantagem competitiva sustentável para ter um desempenho melhor que seus rivais ao longo do tempo (estratégia) e se a empresa pode ganhar dinheiro agora e no futuro (modelo de receita).
Nielsen e Lund (2010)	Um modelo de negócio descreve a coerência nas escolhas estratégicas que facilitam o manuseio dos processos e relações que criam valor nos níveis operacional, tático e estratégico da organização. O modelo de negócio é, portanto, a plataforma que conecta recursos, processos e o fornecimento de um serviço que resulta no fato de a empresa ser lucrativa no longo prazo.
Osterwalder e Pigneur (2010)	Lógica de criação, entrega e captura de valor por parte de uma organização.
Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005)	Ferramenta conceitual que contém um conjunto de elementos e seus relacionamentos, e permite expressar a lógica de negócios de uma empresa específica. É uma descrição do valor que uma empresa oferece para um ou vários segmentos de clientes e da arquitetura da empresa e sua rede de parceiros para criar, comercializar e entregar esse valor e capital de relacionamento, para gerar fluxos de receita rentáveis e sustentáveis
Plé, Lecocq e Angot (2010)	Escolhas realizadas por uma empresa para gerar lucro. Englobam recursos e competências para criar valor, por meio de produtos operacionalizados pela empresa, interna ou externamente.
Rajala e Westerlund (2007)	Formas de criar valor para os clientes e a maneira pela qual uma empresa transforma as oportunidades de mercado em lucro por meio de conjuntos de atores, atividades e colaboração.
Teece (2010)	Articulação da lógica dos dados e de outras evidências que suportam a proposição de valor para o cliente, a fim da empresa entregar esse valor e assegurar uma vantagem competitiva sustentável no mercado e uma estrutura viável de receitas e custos para a empresa que fornece esse valor.
Zott, Amit e Massa (2011)	Maneira como uma empresa faz negócio e como cria valor.

Fonte: Baseado em Bonazzi e Zilber (2014) e Zott, Amit e Massa (2011).

Os focos do MN são a lógica de proposta de valor para todas as partes interessadas; a consideração de atividades cruciais de proposta de valor realizadas por partes externas à empresa, como fornecedores e clientes; a abordagem abrangente para explicar a lógica de proposta de valor de uma empresa; e o fato dos MNs emergirem como uma nova unidade de análise na academia (KIEL; ARNOLD; VOIGT, 2017). Dessa forma, o conceito de modelo de negócios é amplo, pois busca propor valor para os clientes, induzir a venda de produtos e serviços e converter as vendas em lucros (TEECE, 2010). Além do fato de que o conceito de modelo de negócios abrange a empresa como um todo, envolvendo a estrutura necessária para a entrega de valor (OSTERWALDER; PIGNEUR; TUCCI, 2005).

Apesar da conscientização do significado de MN para o sucesso de uma organização nos negócios, em particular nos negócios digitais, há pouco consenso sobre sua base. O conceito de MN é relativamente novo, mas tem sido usado em vários contextos. Embora os pesquisadores possam ver o conceito subjetivamente, os profissionais percebem isso de acordo com o ambiente e a cultura de suas organizações. O consenso sobre os aspectos composicionais do MN é crucial, pois representa uma estrutura ou uma base teórica sobre a qual os pesquisadores podem aplicar a diferentes indústrias em diferentes contextos. É também fundamental para os profissionais, uma vez que o MN pode ser utilizado como uma medida de referência para a análise de desempenho do negócio (AL-DEBEI; AVISON, 2010).

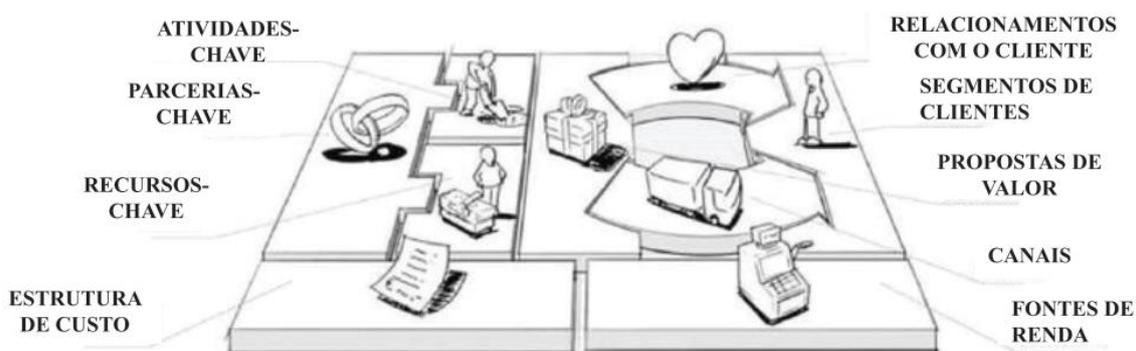
Uma das ideias sobre como visualizar o modelo de negócios é o popular Modelo de Negócio Canvas (*Business Model Canvas - BMC*) (NIELSEN; LUND, 2010). Osterwalder e Pigneur (2010) criaram o MN Canvas (MNC), com o intuito de estabelecer um conceito simples e relevante, fazendo com que qualquer empresa pudesse descrever e manipular seu MN para criar novas estratégias, desafiar suas preconcepções e criar valor de maneira eficiente e eficaz (BONAZZI; ZILBER, 2014). Diferentemente de outros modelos existentes na literatura (HEDMAN; KALLING, 2003; JOHNSON; CHRISTENSEN, CLAYTON M. KAGERMANN, 2008), considera-se o MNC o mais completo dos modelos na teoria de modelo de negócio, por abordar de maneira detalhada o relacionamento de todos os componentes organizacionais internos e externos, bem como por evidenciar como essas se relacionam para propor e capturar o valor proposto pela organização (BONAZZI; ZILBER, 2014).

O trabalho de Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005) e a sua evolução, proposta por Teece (2010), propõem uma representação para MN com base nas diversas

conceituações estabelecidas sobre este termo. Os pilares podem ser traduzidos em quatro blocos principais de MN que são posteriormente decompostos: primeiro, o bloco Produto, que descreve a proposta de valor de uma empresa. Em segundo lugar, o bloco Interface com o Cliente, que descreve como uma empresa entra em contato com seus clientes e que tipo de relacionamentos deseja estabelecer com eles. Em terceiro lugar, o bloco de Gestão de Infraestrutura, que descreve quais atividades, recursos e parceiros são necessários para fornecer os dois primeiros blocos. E, finalmente, o bloco Aspectos Financeiros, que descreve os fluxos de receita e os mecanismos de precificação de uma empresa, ou, em outras palavras, como uma empresa ganha dinheiro através dos outros três blocos.

Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005) descrevem o MNC como uma série de elementos: **produto com a proposição de valor; interação com o cliente com segmentos de cliente, relacionamento com clientes e canais de distribuição; gestão de infraestrutura com atividades, recursos e parceiros-chave** (entrega de valor); e **aspectos financeiros com estrutura de custos e fonte de receita** (captura de valor). A Figura 2.2 mostra os quatro pilares da modelo de negócio Canvas e seus nove blocos de construção.

Figura 2.2 – Modelo de Negócio Canvas



Fonte: Osterwalder e Pigneur (2010).

O centro é formado pela **proposta de valor** que descreve produtos e serviços que agregam valor a segmentos de clientes específicos. A **proposta de valor** se refere, então, a “o que” o negócio oferece, em termos de produtos e serviços que são de valor para os clientes (**proposição de valor**). **Interface com o cliente** refere-se a “quem” são os clientes-alvo da empresa (**segmentos dos clientes**), que por sua vez recebem a proposta de valor. Esses clientes-alvo representam os diferentes grupos de clientes que a empresa pretende tratar. Os **canais de distribuição** caracterizam como a empresa

alcança seus clientes e se comunica com eles. Os canais entregam a proposta de valor aos clientes, assim, fornece seus produtos e serviços (canal de distribuição). Os relacionamentos mantidos com os clientes da empresa são descritos no **relacionamento com o cliente** e promove a proposta de valor. Dessa maneira, envolve como a empresa constrói relacionamentos sólidos com esses consumidores. Além disso, a **gestão de infraestrutura** se concentra em “como” a empresa realiza eficientemente suas atividades (**atividades-chave**), com o que (**recursos-chave**) e em que tipo de rede de empresa opera (**parceiros-chave**). Descreve, então, as atividades que uma empresa deve realizar para criar a proposição de valor e executar todo o MN; e os recursos obrigatórios para executar as atividades cruciais e são, portanto, a base da proposta de valor do MN. Esses dois elementos do MNC permitem a proposição de valor. Além disso, a rede de empresas de fornecedores cruciais e outros parceiros importantes é descrita nos parceiros-chave. Isto diz respeito a atividades-chave, que são facilitadas ou substituídas por parceiros. Por isso, os principais parceiros apoiam a oferta da proposta de valor. Por fim, os **aspectos financeiros** dizem respeito à **fonte de receita e estrutura de custos**, em que o primeiro é construído sobre a proposição de valor e o último contém custos relacionados à criação de valor, marketing e entrega (KIEL; ARNOLD; VOIGT, 2017; OSTERWALDER; PIGNEUR; TUCCI, 2005).

A base da construção da arquitetura de valor, referentes às atividades e recursos-chave do MNC, está na RBV, a qual assume que cada empresa é um pacote de recursos. Mais especificamente, a RBV coloca ênfase na importância estratégica dos recursos aliada à sua integração com a geração de valor desejável pelos clientes e, assim, a vantagem competitiva sustentável para a empresa que possui os recursos (AL-DEBEI; AVISON, 2010).

Os blocos de construção do MNC é a estrutura ontológica do MN e é considerada importante, conforme destacado, pois explica os componentes primários do conceito, descrevendo os principais elementos a serem examinados ao projetar, analisar e avaliar o MN. O Quadro 2.4 apresenta a síntese da descrição dos pilares e blocos de construção do MNC idealizado por Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005). Em outras palavras, esses pilares permitem expressar o que uma empresa oferece, com quem ela se relaciona, como isso pode ser realizado e quanto pode ser ganho ao fazê-lo (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2004).

Quadro 2.4 – Descrição dos blocos de construção do MN Canvas

Modelo de Negócio CANVAS			
Pilares	Blocos de construção	Sigla	Descrição
Produto	Proposta de valor	PV	Fornece uma visão geral do conjunto de produtos e serviços de uma empresa.
	Segmento de cliente	SC	Descreve o segmento de clientes para o qual uma empresa quer oferecer valor.
Interface com o cliente	Canal de distribuição	CD	Descreve os vários meios que a empresa utiliza para alcançar e entrar em contato com o cliente.
	Relacionamento	RL	Explica o tipo de relações que uma empresa estabelece com diferentes segmentos de clientes.
Gestão da infraestrutura	Atividades-chave	AC	Atividades que uma empresa precisa realizar para criar a proposta de valor.
	Recursos-chave	RC	Os recursos que são obrigatórios para executar as atividades cruciais da empresa.
	Parceiros-chave	PC	Retrata a rede de acordos de cooperação com outras empresas, necessárias para oferecer e comercializar com eficiência.
Aspectos financeiros	Estrutura de custos	EC	Resume as consequências monetárias dos meios empregados no modelo de negócio.
	Fontes de receita	FR	Descreve a maneira de a empresa ganhar dinheiro por meio de uma variedade de fluxos de receitas.

Fonte: Traduzido de Kiel, Arnold e Voigt (2017) e Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005).

A elaboração de um modelo de negócio é aplicável a empresas de qualquer segmento e tamanho, sendo, portanto, adequado às empresas que buscam melhorar seus resultados. Tendo identificado as dimensões primárias do conceito de MN, juntamente com seus elementos constituintes, é importante destacar o fato de que eles são substancialmente inter-relacionados e interdependentes (AL-DEBEI; AVISON, 2010).

De acordo com Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005), um modelo de negócios envolve o relacionamento entre a estratégia de negócios, a estrutura organizacional da empresa e os recursos tecnológicos disponíveis, sendo influenciado pelas mudanças tecnológicas, pelas demandas dos clientes, pelas forças competitivas do mercado, pelo ambiente social e pela legislação do local onde a empresa está instalada.

As empresas que buscam uma vantagem competitiva por meio de proposições de valor exclusivas podem usar a configuração dos blocos de construção de seus modelos de negócios para executar suas estratégias no mercado (BOONS; LÜDEKE-FREUND, 2013). Dessa forma, um modelo de negócio é uma maneira sustentável de fazer negócios (NIELSEN; LUND, 2010).

A inovação é um tema dominante na literatura sobre modelos de negócios como um aspecto importante da criação de vantagem competitiva e renovação de organizações (BOONS; LÜDEKE-FREUND, 2013). A administração da empresa assume um papel substancial na concepção do modelo de negócios para inovação. Também sinaliza o modelo de negócios para inovação, introduz novas tarefas que vão

além de pequenas adaptações ao ambiente da empresa, como variações na oferta de valor por meio de produtos ajustados ao mercado (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018).

Toda a indústria ou filosofia de negócio é visto como um mediador de inovações que não apenas conectam produção e consumo, mas também envolvem as partes interessadas e suas expectativas de áreas não comerciais. Na literatura de gestão, há, portanto, uma ligação clara entre o modelo de negócio de uma empresa e suas atividades de inovação. A inovação é um tema dominante na literatura sobre modelos de negócios como um aspecto importante da criação de vantagem competitiva e renovação de organizações (BOONS; LÜDEKE-FREUND, 2013). O MN é uma espinha dorsal importante para artefatos tecnológicos, pois alavanca seu sucesso e facilita a realização de objetivos estratégicos, incluindo valor econômico (AL-DEBEI; AVISON, 2010).

A próxima seção aborda o conceito de modelo de negócio a luz da Indústria 4.0 e suas tecnologias. Assim, algumas pesquisas as quais estudaram esses conceitos conjuntamente foram consideradas.

2.3.1 MANUFATURA ADITIVA E MODELO DE NEGÓCIO

A inovação tecnológica não garante o sucesso dos negócios e os esforços de desenvolvimento de novos produtos devem ser associados a um modelo de negócio (MN) que defina sua estratégia de “ir ao mercado” e “capturar valor”. Grandes realizações tecnológicas comumente fracassam comercialmente, porque pouca atenção foi dada à criação de um MN para levá-los ao mercado adequadamente (AL-DEBEI; AVISON, 2010), uma vez que as empresas comercializam suas ofertas através de seu MN (HOLZMANN et al., 2017a).

Um MN serve como uma ferramenta de desenvolvimento da arquitetura de sistemas e de negócios para representar, planejar e estruturar negócios com a ênfase na eficiência organizacional. A inovação é um tema dominante na literatura sobre MN como um aspecto importante da criação de vantagem competitiva e renovação das organizações. Na literatura de gestão, há, portanto, uma ligação clara entre o MN de uma empresa e suas atividades de inovação (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

As tecnologias disruptivas são portadoras de mudanças radicais nos MN e ecossistemas (IVAN; YIN, 2017). Por isso, alguns autores já começaram a estudar as mudanças no MN com a implementação de novas tecnologias no contexto da Indústria

4.0, como internet das coisas (KIEL; ARNOLD; VOIGT, 2017; METALLO et al., 2018; TESCH; BRILLINGER; BILGERI, 2017), manufatura aditiva (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; MONTES, 2016; RAYNA; STRIUKOVA, 2016) e espaços de fabricação (*Fabrication spaces – Fab-spaces*) (MORTARA; PARISOT, 2016). A Indústria 4.0 foi estudada, ainda, no contexto sustentável (MAN; STRANDHAGEN, 2017) e inovativo em PMEs (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018).

Man e Strandhagen (2017) descreveram o desenvolvimento de modelo de negócio sustentável, através da descrição de cenários, nos quais modelo de negócio baseados em serviços começam a coexistir ao lado de modelo de negócio tradicional. A partir disso, os autores introduziram um modelo de negócio sustentável no mundo da Indústria 4.0. Os desenvolvimentos da Indústria 4.0 afetam fortemente a logística, levando à Logística 4.0. Na Logística 4.0, a acessibilidade é habilitada por várias formas de tecnologia, dentre elas estão:

- (i) Manufatura no local e sob demanda: fabricação de produtos desde o conceito inicial até a entrega final usando tecnologia avançada de manufatura (por exemplo, impressão 3D) com base em dados em tempo real de um cliente (plataforma na nuvem); e
- (ii) Impressão 3D: com a ajuda de impressoras 3D, os clientes são capazes de produzir os produtos necessários sozinhos (STRANDHAGEN et al., 2017).

Com isso, a Logística 4.0 e, conseqüentemente a MA, oferece oportunidades para mudar significativamente o modelo de negócio com o qual as empresas operam (STRANDHAGEN et al., 2017).

Como a MA é uma das tecnologias que irá impactar o MN no contexto da Indústria 4.0, as transformações advindas da adoção dessa tecnologia não podem ser reduzidas às atividades de produção. Também pode exigir otimização operacional para todo o MN, incluindo funções de suporte, tais como gerenciamento da cadeia de suprimentos, do ciclo de vida do produto e de projetos (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). As vantagens estratégicas surgem em conjunto com mudanças internas nas estruturas das organizações e no MN (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

Além da aplicação de procedimentos de MA a MN tradicionais, o desenvolvimento de novas tecnologias e os avanços em termos de redução de custos e velocidade de processamento abrem novas possibilidades para viabilizar novos MN e, em particular, MN com cadeias de suprimento distribuída geograficamente (HEDMAN;

KALLING, 2003). Assim, a MA apresenta oportunidades para MN novos e inovadores, bem como a utilização em MN tradicionais (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

O desenvolvimento do MN diante das tecnologias de MA emergentes implica gerenciar a mudança na organização e mais abertura em relação às fontes externas. Uma visão equilibrada será necessária, uma vez que um papel crescente do consumidor pode ter grandes implicações para tecnologias, modelos de negócios, cadeias de suprimentos, propriedade intelectual, etc., enquanto também as ameaças, custos e desvantagens precisarão ser gerenciadas (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). É bastante claro que as tecnologias de MA têm o potencial de ser altamente perturbadoras e levar a uma inovação significativa no MN. No entanto, o seu efeito da sobre a inovação do MN vai muito além. Além de permitir a inovação do MN, alterando os componentes do negócio, as tecnologias de MA também têm o potencial de alterar consideravelmente a forma como a inovação empresarial é realizada (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Então, a MA deve ser adquirida, compreendida, utilizada, alinhada de forma inteligente, adequada aos recursos, implementada de forma eficaz e incorporada à organização de forma única. Todos os elementos do MN e suas inter-relações causais precisam ser entendidas para qualquer MN específico, já que nem sempre a MA contribui para o desempenho dos negócios (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

Todos os MN são diferentes em vários níveis, não há MN genérico para qualquer combinação. No entanto, há componentes do MN comercial semelhantes ou congruentes (HOLZMANN et al., 2017a). De um modo geral, qualquer combinação da tecnologia de MA com o MN emerge e há importantes implicações sobre como a empresa organiza suas atividades (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). A MA está se tornando progressivamente uma tecnologia que qualquer empresa, pequena ou grande, pode pagar e várias empresas já começaram a integrar a MA em seu MN (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

A quantidade de artigos sobre a MA está aumentando, posto vez que muitas pessoas estão interessadas nesta nova tecnologia. Muitos preveem que a MA será uma ruptura que mudará drasticamente o MN atual (IVAN; YIN, 2017; KURMAN, 2014; SISCA et al., 2016), e também os negócios existentes (STRANDHAGEN et al., 2017). Pôde-se atribuir muitas mudanças através da MA e nesta pesquisa interessa-se pelos impactos dessa tecnologia, com um foco no contexto de MN. Afirma-se que uma das mudanças da MA é melhorar os negócios e que o modelo de negócio é uma boa ferramenta para entender como isso é feito ou não. Já que o conceito de MN está se

tornando cada vez mais popular, tanto no comércio eletrônico quanto nos negócios em geral (AL-DEBEI; AVISON, 2010). Existem janelas óbvias para pesquisa em relação à MA e MN.

O MN é, muitas vezes, difícil de definir, pois pode servir ao mesmo tempo como modelo em escala, modelo a seguir e modelo ideais. Da mesma forma, a construção do modelo de negócios geralmente resulta de uma taxonomia e uma tipologia (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005) são os únicos que propuseram uma estrutura operacional para avaliar o modelo de negócios da empresa, mesmo que de forma qualitativa, por meio de uma série de indicadores, enquanto que os outros autores se atêm à definição mais conceitual.

Uma das ideias sobre como visualizar o modelo de negócios é o popular Modelo de Negócio Canvas (*Business Model Canvas - BMC*) (NIELSEN; LUND, 2010). Osterwalder e Pigneur (2010) criaram o MN Canvas (MNC), com o intuito de estabelecer um conceito simples e relevante, fazendo com que qualquer empresa pudesse descrever e manipular seu MN para criar novas estratégias, desafiar suas preconcepções e criar valor de maneira eficiente e eficaz (BONAZZI; ZILBER, 2014). Diferentemente de outros modelos existentes na literatura (HEDMAN; KALLING, 2003; JOHNSON; CHRISTENSEN, CLAYTON M. KAGERMANN, 2008), considera-se o MNC o mais completo dos modelos na teoria de modelo de negócio, por abordar de maneira detalhada o relacionamento de todos os componentes organizacionais internos e externos, bem como por evidenciar como essas se relacionam para propor e capturar o valor proposto pela organização (BONAZZI; ZILBER, 2014).

O Quadro 2.5 apresenta alguns artigos comparando os componentes do MN considerados pelos autores, considerando as nomenclaturas e definições apresentadas, com os componentes do MN Canvas. Por exemplo, pela definição de Bocken et al. (2014), “Proposição de valor”, está relacionada com a definição de “Proposta de valor”, “Segmentos de clientes” e “Relacionamento” do MN Canvas. Essa análise foi feita em todos os artigos apresentados.

Percebe-se que o MN Canvas abrange a maioria deles, tornando-o um modelo completo. Sendo assim, selecionou-se o MN Canvas para delinear a análise dos impactos da adoção da MA. Os elementos que não são englobados no MN Canvas, “concorrentes”, “fatores pessoais do investidor” e “ambiente” (HEDMAN; KALLING, 2003; MORRIS; SCHINDEHUTTE; ALLEN, 2005; TESCH; BRILLINGER;

BILGERI, 2017), serão estudados no tópico de motivações e limitações da adoção da MA.

Assim, uma definição teoricamente sólida do modelo de negócio ajudaria no campo da pesquisa de MA. Esta tese busca explorar, então, os impactos da adoção da MA no MN, especificamente o Canvas. O próximo capítulo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre a MA e o modelo de negócio, a fim de identificar o estado da arte do tema e, assim, proporcionar uma direção para o escopo desta pesquisa.

Quadro 2.5 – Estudos comparados com o MN Canvas

Autores	Modelo de Negócio CANVAS										Outros	Contexto	
	Produto		Interface com o cliente		Gestão de infraestrutura			Apectos financeiros		Outros			Contexto
	Proposta de Valor	Segmento de Clientes	Canal de Distribuição	Relacionamento	Atividades-chave	Recursos-chave	Parceiros-chave	Estrutura de Custos	Fontes de Receita				
Al-Debei e Avison (2010)	Proposição de valor		Rede de valor		Arquitetura de valor		Rede de valor		Valor financeiro		Sistemas de informação		
Bocken et al. (2014)	Proposição de valor	Proposição de valor		Proposição de valor		Criação e entrega de valor			Captura de valor		Inovação e sustentabilidade		
Bogers, Hadar e Bilberg (2016)	Criação e captura de valor			Criação e captura de valor							MA		
Boons e Lüdeke-Freund (2013)	Proposição de valor		Interface do cliente				Cadeia de suprimento		Modelo financeiro		Inovação sustentável		
Hämäläinen e Ojala (2015)						Criação de valor	Criação de valor				MA		
Hedman e Kalling (2003)	Oferta	Clientes			Atividades e organização	Recursos			Fornecimento de fator e produção entradas	Concorrentes	Sistemas de informação		
Kiel, Arnold e Voigt (2017)	Proposição de valor	Consumidor alvo	Canal de distribuição	Relacionamento	Configuração de valor	Competência principal	Rede de parceiros	Estrutura de custo	Modelo de receita		Internet das coisas		
Man e Strandhagen (2017)	Proposição de valor		Interface do cliente				Cadeia de suprimento		Justificativa financeira		Indústria 4.0 e sustentabilidade		
Metallo et al. (2018)	Proposição de valor	Consumidor alvo	Canal de distribuição	Relacionamento	Atividades-chave	Recursos-chave	Rede de parceiros	Estrutura de custo	Estrutura de custo		Internet das coisas		
Montes (2016)	Proposição de valor		Entrega de valor	Comunicação de valor	Criação de valor				Captura de valor		MA		
Morris et al. (2005)	Proposição de valor	Cliente			Processos/competências internas		Posicionamento externo		Modelo econômico	Fatores pessoais do investidor	Empreendedorismo		
Mortara e Parisot (2016)	Proposição de valor	Consumidor alvo	Canal de distribuição				Rede de parceiros		Modelo de receita		Espaços de fabricação (Fabrication spaces - Fab-spaces)		
Müller, Buliga e School (2018)	Oferta de valor		Captura de valor		Criação de valor	Criação de valor	Criação de valor		Captura de valor		Inovação, Indústria 4.0 e PMEs		
Rayna e Striukova (2016)	Proposição de valor		Entrega de valor	Comunicação de valor	Criação de valor				Captura de valor		MA e Inovação		
Strandhagen et al. (2017)	Proposição de valor		Canais		Principais atividades	Recursos e tecnologia	Estrutura da cadeia de suprimento		Modelo financeiro		Logística 4.0 e sustentabilidade		
Osterwalder e Pigneur (2004)	Proposição de valor	Consumidor alvo	Canal de distribuição	Relacionamento com cliente	Configuração de valor	Competência principal	Rede de parceiros		Estrutura de custo		e-business		
Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005a)	Proposição de valor	Consumidor alvo	Canal de distribuição	Relacionamento	Configuração de valor	Competência principal	Rede de parceiros	Estrutura de custo	Modelo de receita		Sistemas de informação		
Tesch, Brillinger e Bilgeri (2017)	Proposição de valor									Ambiente	Inovação e Internet das coisas		
Trkman, Budler e Groznik (2015)	Produtos	Clientes			Processos	Empregados	Parceiros				Cadeia de suprimentos		

Fonte: Baseado em Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005).

3 IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE NEGÓCIO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Neste capítulo a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é detalhada. Na seção “Introdução” é apresentado um panorama geral do tema, justificativa e o objetivo da pesquisa e nos “Procedimentos metodológicos” a metodologia utilizada na RSL é descrita. Os dados extraídos dos artigos selecionados são mostrados e analisados na seção de “Apresentação e discussão dos resultados” e, por fim, algumas “Considerações finais” são realizadas. Vale ressaltar que este capítulo já foi submetido em uma revista científica.

3.1 INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (MA) foi inventada nos EUA na década de 1980 e usada inicialmente como um método para produzir protótipos físicos de produtos. Desde então, continuou a evoluir em diferentes aspectos, juntamente com o desenvolvimento da tecnologia da informação e o surgimento de novos materiais (LI et al., 2017). Na MA, os objetos são formados uma camada por vez, cada camada em cima da anterior, até que o objeto final seja concluído (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; ASTM, 2013; BERMAN, 2012; COZMEI; CALOIAN, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015; MA, 2013). Após décadas de desenvolvimento, a MA agora pode criar objetos a partir de uma variedade de materiais, incluindo polímero, metal, cerâmica, vidro, papel e até células vivas, conhecida como bioimpressão (LI et al., 2017).

A tecnologia de MA superou seu sucesso inicial com uma aceleração dos ciclos de inovação por meio da prototipagem rápida e, agora, está sendo aplicada na fabricação de uma ampla gama de produtos (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016). O surgimento de novas tecnologias de fabricação orientadas para facilitar a produção local agrega valor adicional, assim, a MA tornou-se um dos instrumentos da Indústria 4.0 (IVAN; YIN, 2017). Juntamente com outras tecnologias, como a *Internet of things* e *Big data*, a MA é uma dessas tecnologias inovadoras e está deixando sua marca no setor industrial e no mercado comercial, sendo desenvolvida em um ritmo acelerado e aplicada em diferentes áreas (MOHR; KHAN, 2015).

As tecnologias de MA são um amplo conjunto de métodos e ferramentas muito promissoras capazes de implantar a personalização em massa, unidade a unidade, e materializar a manufatura de produtos no tempo e lugar onde a demanda ocorre (MINGUELLA-CANELA et al., 2017). Fica claro que a MA crescerá a uma taxa sem precedentes na próxima década (DESPEISSE et al., 2017a). Todos os dias, a qualidade e a velocidade da impressão melhoram gradualmente. Muitas empresas, incluindo a Airbus e a Boeing, já estão adotando a MA (3D HUBS, 2019; BEN-NER; SIEMSEN, 2017; WELLER; KLEER; PILLER, 2015) No entanto, deve-se notar que, devido à maturidade incompleta e às pesquisas ainda em andamento, muitos aspectos da MA, ainda carecem de competência suficiente para substituir tecnologias tradicionais e tornar-se um sistema de fabricação amplamente aceito nas indústrias (ZANARDINI et al., 2015). Assim, estudos com o objetivo de avaliar os caminhos que as empresas estão empreendendo para implementar a MA são necessários (SHAH et al., 2017). Alguns dizem que a MA irá alterar o *design* e a fabricação tradicional em um nível de inovação comparável à invenção da eletricidade ou da Internet.

Há falta de estudos sistemáticos, os quais trazem os impactos da tecnologia de MA no uso da produção de produtos customizados dentro da cadeia de suprimentos. Normalmente, os pesquisadores investigam este tópico com uma abordagem vertical, muito focada em aspectos tecnológicos. Dessa forma, estudos e pesquisas horizontais com o objetivo de avaliar os caminhos mais novos e originais de inovação que as empresas estão realizando para a implementação da MA são necessários (SHAH et al., 2017). Pesquisas futuras devem se concentrar nas práticas gerenciais, estratégias e mudanças organizacionais necessárias para colher mais benefícios da MA e de outras tecnologias da Indústria 4.0 (MONTES, 2016).

Dessa forma, seguindo a visão de muitos gerentes e engenheiros, a MA mudará áreas diferentes e, mais importante, oferecerá uma mudança no modelo de negócio (IVAN; YIN, 2017; PILKINGTON; FRANDSEN; REHNBERG, 2015; SISCA et al., 2016). Inicialmente, estudos exploratórios, como revisão sistemática da literatura, podem ser realizados para identificar os impactos da adoção desta tecnologia. Pour et al. (2016) fizeram uma pesquisa da literatura existente, em que detectaram os impactos da MA no contexto de sistemas de produção e logístico. Niaki e Nonino (2017) também realizaram um estudo a partir da literatura, em que identificaram oito principais áreas de pesquisa impactadas a partir da implementação da MA, e uma delas foi o modelo de

negócio. A partir disso, este estudo tem como objetivo explorar os impactos da adoção da MA no modelo de negócio das empresas, além de suas motivações e limitações.

A partir disso, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) dos impactos da adoção da MA no modelo de negócio.

A principal questão que esta RSL buscou responder foi: **Quais são os impactos da MA no modelo de negócio?**

As questões complementares a questão central foram:

- a) Quais as características gerais dos estudos sobre MA e modelo de negócios (ano, fonte, abordagem e método de pesquisa, e indústrias)?
- b) Quais são os elementos da MA (materiais e técnicas)?
- c) Quais são as características dos produtos advindos da MA?
- d) Quais são as motivações e limitações da adoção da MA?

Na próxima seção os procedimentos metodológicos são apresentados, em seguida, tem-se a apresentação e análise dos resultados e, por fim, as considerações finais e futuras pesquisas.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Por se tratar de um tema relativamente novo na literatura, o objetivo desse estudo é verificar se está havendo uma evolução em pesquisas sobre o tema MA e modelo de negócio. Além disso, as similaridades e diferenças entre os estudos são destacadas para colaborar com o crescimento de pesquisas nesta área, identificando oportunidades para futuras pesquisas e auxiliando profissionais para impactos da adoção da MA no modelo de negócio.

O método de pesquisa utilizado nesta RSL é do tipo teórico-conceitual, que de acordo com Berto e Nakano (2000) envolve discussões conceituais a partir da literatura, resultantes de revisões da literatura. Foi realizada, então, uma RSL a fim de verificar o *status quo* dos estudos sobre a adoção da Manufatura aditiva (MA) no modelo de negócio e, conseqüentemente, algumas análises foram feitas. A RSL foi baseada no procedimento proposto por Conforto *et al.*(2011) e Tranfield, Denyer e Smart (2003), em que foram utilizadas as seguintes etapas e fases mostradas no Quadro 3.1. Além disso, o mesmo quadro detalha como cada etapa foi realizada especificamente nesta pesquisa.

Quadro 3.1 – Resumo do procedimento da revisão sistemática da literatura

Etapas	Fases	Aplicação na Pesquisa
Planejamento da revisão	Identificação da necessidade da revisão	Leitura inicial de artigos (revisão <i>ad hoc</i>), identificação dos temas da pesquisa (MA e modelo de negócios) e definição das questões a serem respondidas a partir da RSL
	Preparação do propósito da revisão	
	Desenvolvimento do protocolo da revisão	
Condução da revisão	Identificação da pesquisa	Definição das palavras-chave
	Seleção dos estudos	Utilização das bases de dados, aplicação de filtros e leitura de títulos e resumos
	Avaliação da qualidade do estudo	Estudos sobre impactos da MA e modelo de negócio, e suas motivações e limitações
	Extração de dados e monitoramento do progresso	Análise de conteúdo e painel de especialistas para categorizar os impactos da MA nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas
	Síntese dos dados	
Relatórios e divulgação	Relatório e recomendações	Apresentação dos resultados encontrados e análise das categorias observadas

Fonte: Adaptado de Tranfield, Denyer e Smart (2003).

As bases de dados usadas para as buscas foram: *EBSCO*, *Emerald insight*, *Engineering village*, *Proquest*, *Science direct*, *Scopus* e *Web of science*. Todos os artigos publicados até 23 de abril de 2018 foram considerados, porém as bases *EBSCO* e *Emerald insight* foram considerados até 02 de maio de 2018, assim não foram definidos cortes no horizonte de tempo.

O Quadro 3.2 apresenta o protocolo do procedimento da RSL, com os principais dados das buscas efetuadas.

Quadro 3.2 – Protocolo do procedimento da RSL

Base de dados	EBSCO ¹ , Emerald insight ¹ , Engineering village, Proquest, Science direct, Scopus e Web of science
Data das buscas	23 de abril de 2018 e 02 de maio de 2018 ¹
Corte temporal	Não definido
Palavras-chave	PC1: "3dp*" OR "3d print" OR "additive fabricat*" OR "additive layer* fabricat*" OR "additive layer* manufactur*" OR "additive manufactur*" OR "free form fabricat*" OR "rapid fabricat*" OR "rapid manufactur*" OR "rapid prototyp*" OR "three dimensional print*" OR "tridimensional print*"
	PC2: "business model" OR "operation* management" OR "production* management" OR "supply chain" OR "value chain"
Operadores booleanos	PC1 AND PC2
Campos buscados	Títulos, resumos, palavras-chave, assunto ou tópico
Filtros aplicados	Artigos científicos de periódicos ou congressos na língua inglesa ou portuguesa
Áreas consideradas	Ambiental, computação, econometria, economia, energia, engenharia, finanças, gestão, negócios, operações, ciências sociais e transportes.
Dados para Seleção	Títulos e resumos
Dados para Extração	Leitura integral

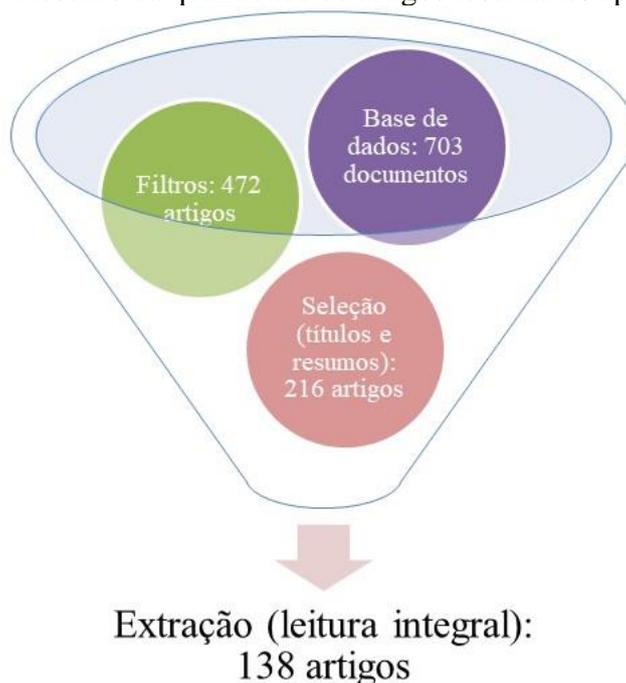
¹EBSCO e Emerald insight: buscas realizadas até 02 de maio de 2018

Fonte: Proposto pela autora.

As palavras-chave utilizadas foram buscadas em títulos, resumos, palavras-chave, assunto, assunto principal e/ou tópico, conforme o que a base de dados permitia. As palavras-chave foram selecionadas baseadas nas leituras iniciais de artigos sobre o tema: palavras-chave 1 (PC1) baseadas em sinônimos de MA (HOLMSTRÖM *et al.*, 2016) e palavras-chave (PC2) envolvendo algumas áreas de operações baseadas nas definições do modelo de negócio. Como poucos artigos retornaram na pesquisa apenas para modelo de negócio, expandiu-se para as áreas de negócios também. Assim, os artigos neste contexto falaram dos impactos da MA, mas não especificaram o modelo de negócios. Foram obtidos 703 artigos e, assim, um novo filtro foi feito. Apenas artigos de congressos e periódicos na língua inglesa e portuguesa foram considerados. Além disso, quando a base de dados retornava muitos documentos, apenas os que estavam classificados nas áreas relacionadas a modelo de negócio foram incluídos. Por exemplo, na base de dados *Scopus* as áreas consideradas foram: *engineering, computer science, environmental science, social sciences, business, management and accounting, decision sciences, economics, econometrics and finance*. Com isso, esse filtro resultou em 472 artigos.

Em seguida, os títulos e resumos dos artigos foram verificados, a fim de identificar apenas os artigos que se encaixam no tema buscado (MA e modelo de negócio). Então, nessa fase de seleção foram aceitos 216 artigos. A leitura integral dos artigos foi realizada e, para extração dos dados, 138 foram considerados, em que, novamente, aqueles que não discorriam a respeito do tema foram descartados. Esses artigos estão listados no Apêndice B. A Figura 3.1 resume as principais etapas da RSL e traz a quantidade de artigos resultantes em cada uma delas.

Figura 3.1 – Resumo da quantidade de artigos resultantes após cada etapa



Fonte: Proposta pela autora.

A RSL tem por finalidade detectar e organizar os conceitos relevantes dos artigos (ROWLEY; SLACK, 2004) e, com isso, foi possível sintetizá-los em categorias relacionados ao tema estudado. Essa categorização auxiliou a análise do conteúdo revisado, possibilitando identificar similaridades e diferenças entre os estudos. Os artigos foram classificados de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) Ano;
- b) Fonte do artigo e tipo de fonte (periódicos ou congressos);
- c) Abordagem e método de pesquisa;
- d) Fonte de dados;
- e) Indústria e/ou setores das empresas dos estudos;
- f) Matéria-prima e técnica de impressão da MA;
- g) Características dos produtos da MA;
- h) Impactos da MA nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas; e
- i) Motivações e limitações da adoção da MA.

3.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

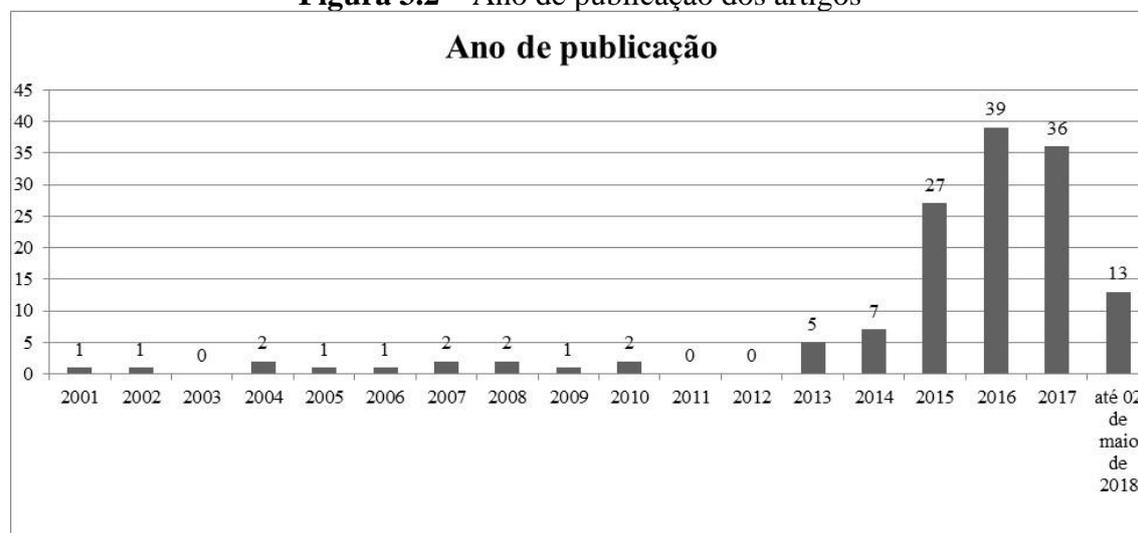
Nesta seção são apresentados os principais resultados da RSL, os quais foram divididos em dados gerais dos artigos, com informações descritivas e o restante

referente à análise de conteúdo. Na análise descritiva as características gerais dos artigos (ano dos estudos, abordagens e métodos de pesquisa, fonte dos dados, indústrias estudadas e características técnicas da MA) e dos produtos da MA são mostradas. Enquanto que, na análise de conteúdo, os impactos da MA no modelo de negócio e as motivações e limitações para a adoção dessa nova tecnologia são discutidas.

3.3.1 Características Gerais dos Artigos

Inicialmente foi analisado o ano de publicação dos artigos estudados. Conforme mostrado na Figura 3.2, os estudos sobre o tema iniciaram-se em 2001, aumentaram em 2013 e 2014, e obtiveram um grande crescimento a partir de 2015, com uma pequena queda em 2017. A pesquisa foi feita no início do mês de maio de 2018 e, mesmo assim, já havia 13 artigos publicados na área. Sendo assim, indo de acordo com o que muitos autores afirmam, por exemplo Holzmann *et al.* (2017a), o volume de pesquisas realizadas sobre MA está aumentando rapidamente. Percebe-se, que este tema juntamente com modelo de negócios também é recente e a tendência é cada vez mais aumentar o número de publicações.

Figura 3.2 – Ano de publicação dos artigos



Fonte: Dados da pesquisa.

O tipo fonte dos artigos estudados na RSL também foi estratificado em congressos e periódicos. Verifica-se que a maioria dos artigos (89 ou 64%) foi publicada em periódicos e poucos (51 ou 36%) foram publicados em congressos.

Em relação às fontes que os artigos foram publicados, a Figura 3.3 ilustra as que tiveram acima de dois artigos. O periódico *Journal of Manufacturing Technology Management* é o que mais tem publicado na área, com treze artigos. Em seguida, o *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. A partir disso percebe-se uma igualdade entre os periódicos na quantidade de publicações com três e quatro artigos. Destaque-se o congresso *International Conference on Advances in Production Management Systems*, o qual foi o único que apresentou três artigos publicados na área.

Verifica-se, ainda, uma grande variedade de periódicos que estão publicando sobre o tema, além da diversidade de enfoques que esses periódicos abrangem. Por exemplo, o *Journal of Industrial Ecology* que traz foco nas questões ambientais ou o *3D Printing and Additive Manufacturing* que pode envolver artigos mais focados nas tecnologias de MA. Pôde-se identificar que a MA e modelo de negócios são temas amplos, que podem abranger vários cenários, assim, muitos pesquisadores têm trabalhado a MA em diferentes contextos (VINODH et al., 2009).

Figura 3.3 – Fonte dos artigos estudados



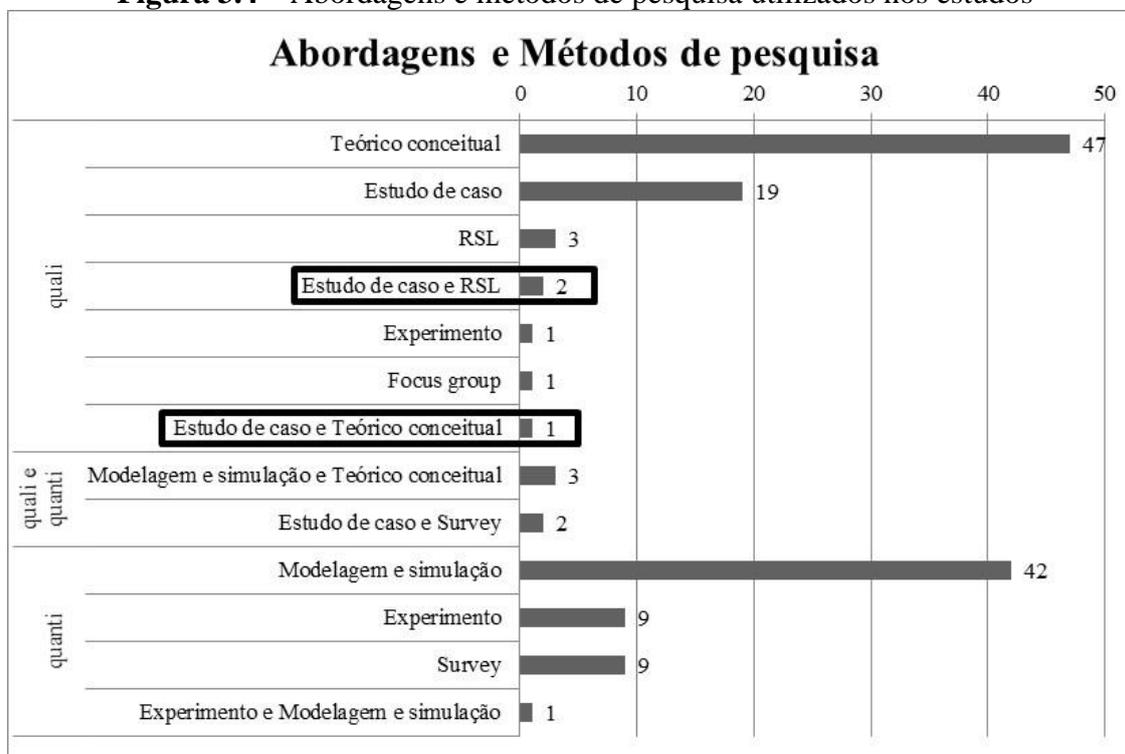
Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto à abordagem e método de pesquisa, identifica-se uma igualdade entre as abordagens qualitativa (quali – 74 artigos) e quantitativa (quanti - 61) aplicadas separadamente nos estudos. Em contrapartida, as duas abordagens juntas (quali e quanti - 5) foram pouco utilizadas nas pesquisas dos artigos selecionados.

Os métodos mais usados foram o Teórico conceitual (47 artigos), Modelagem e simulação (42), e Estudo de caso (19), respectivamente. Em nove estudos os autores utilizaram mais de um método de pesquisa, como por exemplo Modelagem e simulação e Teórico conceitual (3). A Figura 3.4 resume esses dados. Percebe-se, a partir dos resultados, que há estudos exploratórios (quali), ao mesmo tempo e parcela que há

estudos confirmatórios (quanti). Porém, nota-se que a maioria dos estudos traz uma inicial discussão sobre o tema e tentam delinear uma visão futura da aplicação da MA no modelo de negócio (HOLMSTRÖM et al., 2016; JIANG; KLEER; PILLER, 2017; SASSON; JOHNSON, 2016). Há alguns trabalhos exploratórios com empresas adotantes da MA em fase inicial (HOLMSTRÖM et al., 2016), sendo poucos que trazem dados empíricos (49 ou 35%). Além disso, destaca-se que apenas dois estudos utilizaram os métodos Estudo de caso e RSL, conjuntamente, e um estudo usou o Estudo de caso e Teórico conceitual, mostrando ainda uma necessidade de estudos exploratórios sobre o tema.

Figura 3.4 – Abordagens e métodos de pesquisa utilizados nos estudos



Fonte: Dados da pesquisa.

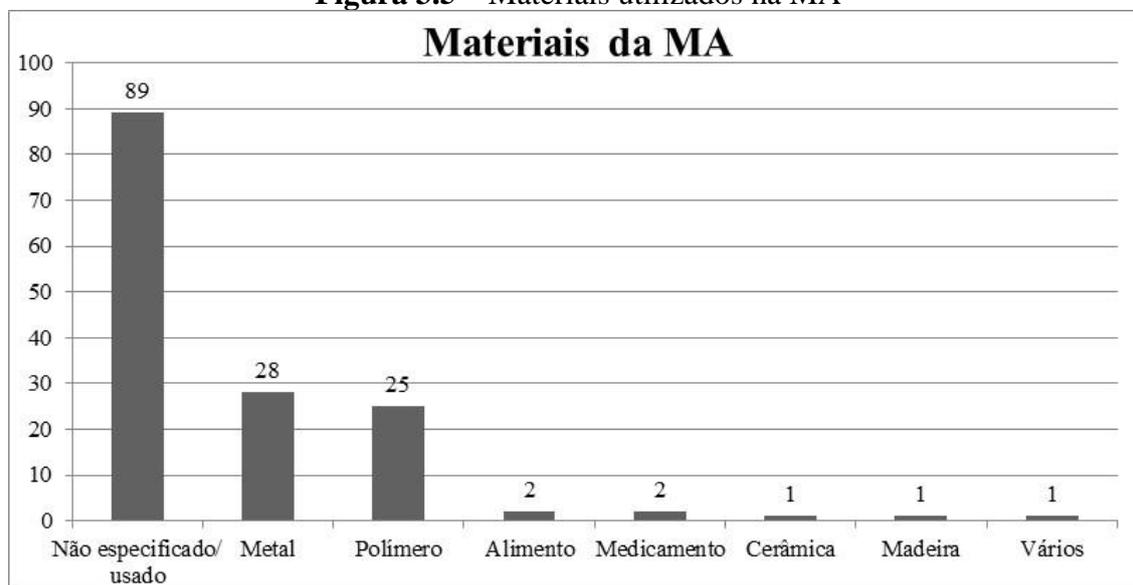
Sobre os materiais mais usados na MA, muitos autores não especificaram, isso mostra que poucos estudos focam apenas em um material, estudando o tema de forma geral. Dos que especificaram, os mais utilizados na MA são o metal e o polímero. Alimentos e medicamentos já estão sendo usados e fabricados com a MA. Estes foram citados em apenas duas pesquisas cada um, assim verifica-se que há estudos nesta área com outros materiais, além do polímero e metal, mas ainda não é muito explorado. A Figura 3.5 apresenta esses resultados, observando que a utilização de um material não exclui a utilização do outro, sendo assim mais de um material pode ser citado em um

mesmo estudo. Quando até três materiais foram estudados, estes foram computados separadamente. Por exemplo, verificou-se que sete estudos estudaram metal e polímero, e um estudo analisou cerâmica, metal e polímero conjuntamente. Quando mais de três materiais foram pesquisados, estes foram classificados como “vários”.

Segundo Rayna e Striukova (2016), hoje em dia, o material mais comum usado na MA é o polímero (ABS, PLA e *nylon*), mas as ligas metálicas, cerâmicas, partículas de madeira, sal e até açúcar e chocolate podem ser usados para imprimir. Além disso, a maioria das impressoras, seja industrial ou de consumo próprio, só pode imprimir um material por vez, mas nos últimos meses, várias impressoras, que podem imprimir vários materiais simultaneamente, foram trazidas para o mercado.

Para Laplume, Petersen e Pearce (2016), embora as impressoras imprimam uma variedade de materiais, incluindo cerâmica e metal, a grande maioria também está limitada à impressão em plástico. Porém, na visão de Hoover e Lee (2015) os materiais para impressão 3D ainda são limitados. Contudo, a proliferação de tecnologias levará a soluções mais inovadoras em uma gama cada vez mais diversificada de materiais e combinações de materiais (SASSON; JOHNSON, 2016).

Figura 3.5 – Materiais utilizados na MA

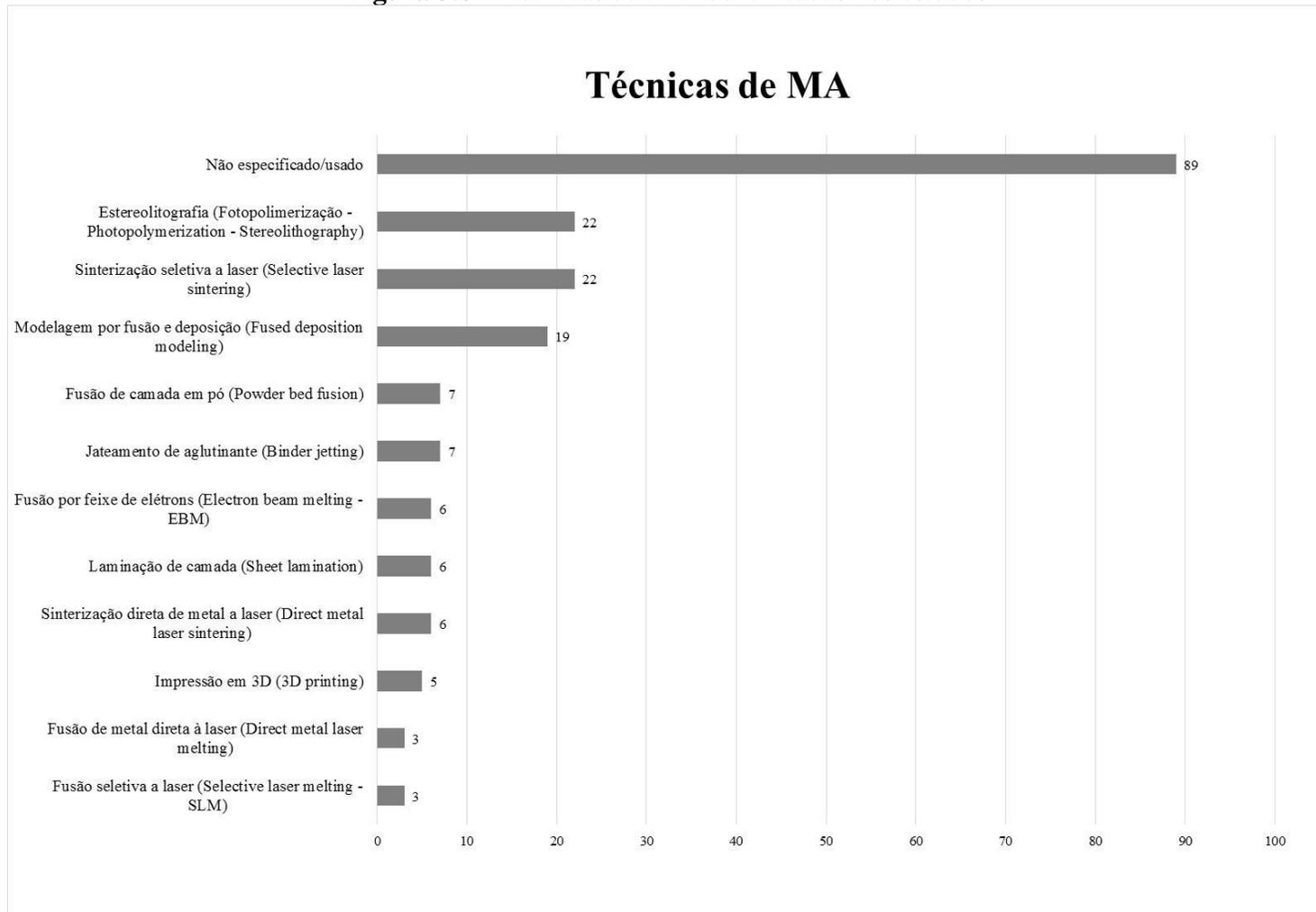


Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação às técnicas de MA, muitas pesquisas não especificaram qual foi estudada (89 artigos), assim como as matérias-primas. Dessa forma, reafirma-se que muitos estudos do tema MA e modelos de negócios consideram a MA de maneira generalizada, sem focar especificamente em um material ou técnica. Isso pode ser mais

detalhado em estudos técnicos da área de MA. Dos artigos em que a técnica foi identificada, as mais consideradas por ordem decrescente foram: Fotopolimerização, Sinterização seletiva a laser, e Modelagem por fusão e deposição. Isso vai de acordo com os materiais mais usados citados anteriormente, já que essas técnicas utilizam principalmente polímeros. Faz sentido essas técnicas terem sido as mais estudadas, já que foram as primeiras desenvolvidas (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

Existem diversas outras técnicas que foram mencionadas nos artigos, as quais usam também outros tipos de materiais, como Fusão de camada em pó, Jateamento de aglutinante, Fusão por feixe de elétrons (*electron beam melting - EBM*), Laminação de camada, Sinterização direta de metal a laser, entre outras. A fusão por feixe de elétrons e essas outras tecnologias de MA identificadas nos artigos são atualmente utilizadas como processos de fabricação de peças metálicas em várias indústrias (PORTOLÉS et al., 2016). A Figura 3.6 traz todos os dados relativos às técnicas de MA apresentados em um gráfico, em que foram citadas acima de três vezes.

Figura 3.6 – Técnicas de MA identificadas nos estudos.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto às indústrias e setores mais estudados nos artigos, novamente a maioria dos autores não indicaram. Dos que informaram, a maioria dos artigos estudaram o setor de peças de reposição (por exemplo, HOLMSTRÖM et al., 2010; LIU et al., 2013; SIRICHAKWAL; CONNER, 2016), talvez pelas características que esse setor tem, as quais vão ao encontro das particularidades da MA.

Na posição seguinte, ficou a indústria aeronáutica, que muitas vezes relaciona-se com o setor de peças de reposição nos estudos. Porém, para implementar a MA na indústria aeronáutica, é necessário não só demonstrar suas capacidades de fabricação (a comunidade de MA está dedicando recursos significativos para melhorar sua maturidade tecnológica), mas também cumprir todos os requisitos técnicos e de gerenciamento aeronáutica (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016). Nessa indústria os processos de MA devem ser desenvolvidos para atender aos rigorosos requisitos da indústria e garantir que os produtos possam atingir os níveis de desempenho robustos estabelecidos pelos métodos tradicionais de fabricação, além de cumprir com os critérios de regulamentação (PORTOLÉS et al., 2016).

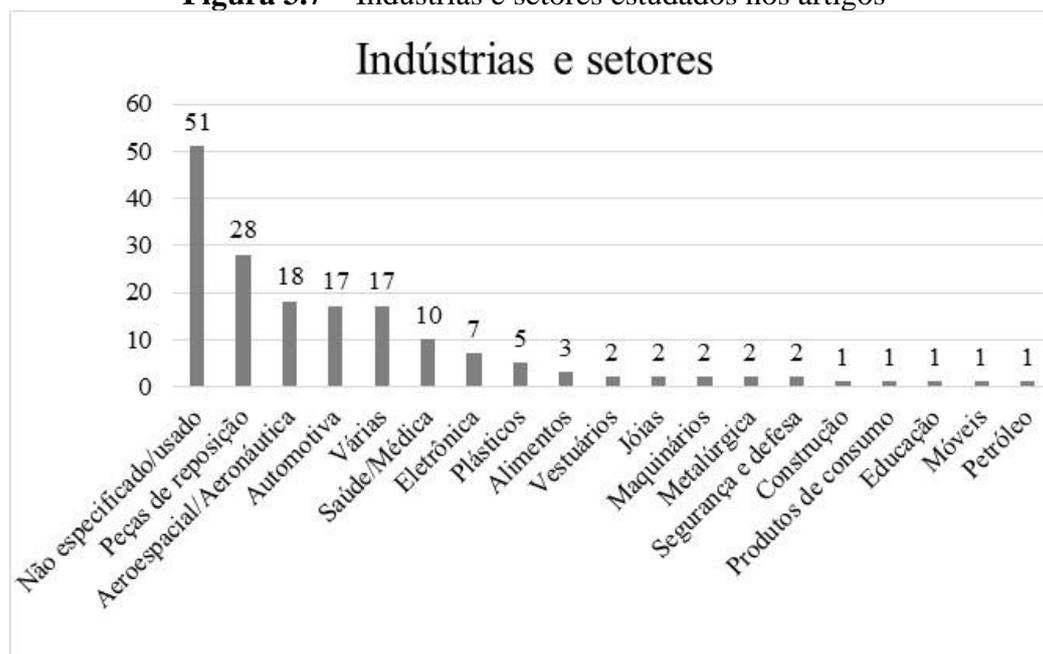
Após, a indústria automotiva foi pesquisada, juntamente com as pesquisas que foram realizadas em várias indústrias, assim os autores pesquisaram mais de três setores em um mesmo trabalho. Alguns estudos consideraram até três indústrias e foram computadas separadamente, assim não entraram na categoria “várias”. Na indústria automotiva, os principais fabricantes têm usado a MA para prototipagem há anos e estão preparados para começar a aplicar diretamente o processo para produzir peças (LI; KUCUKKOC; ZHANG, 2017).

A aplicação da MA na área da saúde ou médica, a qual ficou em quinto lugar na posição das mais estudadas, envolve o desenvolvimento de próteses (KIM, 2016) e implantes, como placas cranianas, mandíbulas e dentaduras com titânio, que combinam perfeitamente com o corpo humano. Depois, tem-se a indústria de eletrônicos, plásticos e alimentos. Contudo, vários outros setores foram estudados, em menor quantidade de artigos, como vestuários, joias, maquinários, metalúrgicos, segurança e defesa, entre outros. Com isso, percebe-se que há uma aplicação ampla da MA em várias indústrias, não limitada apenas à indústria de peças de reposição, aeronáutica e automotiva.

A Figura 3.7 resume essas informações. Conforme visto no gráfico e reafirmado pelos autores Laplume, Petersen e Pearce (2016) a aplicabilidade da tecnologia de impressão 3D varia consideravelmente nas diferentes indústrias do setor de fabricação e

o aumento da utilização dessa tecnologia tem sido mais acentuado em algumas indústrias do que em outras (mais de peças de reposição e menos de petróleo, por exemplo). A MA é altamente aplicável em certas indústrias, como na fabricação de máquinas e equipamentos, enquanto outras indústrias, como a de fabricação de metais básicos, produtos químicos, produtos de papel e têxteis, provavelmente não serão afetadas em qualquer futuro previsível (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

Figura 3.7 – Indústrias e setores estudados nos artigos



Fonte: Dados da pesquisa.

Os fabricantes de produtos personalizados em domínios como dentário, biomédico, moda e vestuário também têm adotado as tecnologias de MA com sucesso (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). E as máquinas de impressão 3D variam amplamente em tamanho, resolução, materiais usados, custos e aplicações (GARRETT, 2014). Sendo assim, a MA é uma classe emergente de métodos de fabricação que já oferece uma riqueza de processos e materiais que cobrem muitas aplicações em todos os setores da indústria (HOLMSTRÖM et al., 2016).

A próxima seção abordará as principais características dos produtos fabricados a partir da MA, identificadas nos artigos analisados, como formato, variedade, tamanhos de lotes, estratégia de demanda, entre outras.

3.3.2 Características do Produto da MA

Uma rápida mudança no sentido de baixo volume de produção de produtos personalizados e sustentáveis, com alto valor agregado está sendo observada em países desenvolvidos. Para competir com a dinâmica dessas mudanças de suprimento trazida pela era da globalização, as empresas têm procurado novas técnicas de fabricação para equipar-se com as ferramentas necessárias para uma maior flexibilidade e produção econômica de baixo volume. A MA pode ser considerada como tal técnica (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; BERMAN, 2012; FORD, 2014; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

A MA descreve um conjunto de técnicas de fabricação em rápida evolução que está começando a complementar e até substituir técnicas de fabricação tradicionais em contextos de baixo volume e alta variedade (HOLMSTRÖM et al., 2016). Assim, a MA tem sido comparada com a customização em massa, sendo que permite economicamente que as empresas construam produtos personalizados em pequenas quantidades (BERMAN, 2012; FORD, 2014; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015).

A flexibilidade das tecnologias de MA permite, então, formas personalizadas, interação digital com os consumidores e fabricação direta, o que proporciona benefícios em termos de custos mais baixos, redução da complexidade da cadeia de suprimentos e prazos de entrega, entre outras vantagens. A partir da utilização da MA, é possível criar com os consumidores, a fim de aumentar a customização de peças únicas (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). A customização de produtos impressos 3D permite que as lojas de impressão 3D criem produtos únicos que possam diferenciar os compradores daqueles que comprem bens produzidos em massa (LAPLUME; ANZALONE; PEARCE, 2016).

Como a MA não requer ferramentas e moldes caros, é particularmente rentável para pequenos lotes de produção. Isso permite que as empresas usem lucrativamente a MA para atender pedidos customizados, com ampla variedade e atingindo outros nichos de mercado (BERMAN, 2012; KIETZMANN; PITT; BERTHON, 2015). A MA possibilita, então, a fabricação de modelos que antes eram economicamente inviáveis ou, até mesmo, impossíveis (COZMEI; CALOIAN, 2012), permitindo, assim, projeto e produção com baixo custo de protótipos e peças (FORD, 2014).

As aplicações de pequeno lote de produção da MA incluem produtos de customização em massa, protótipos e peças de reposição. Estas aplicações são tipicamente objetos de alto valor que são ou personalizados ou produzidos em quantidades muito pequenas (BERMAN, 2012). A customização obtida a partir das impressoras 3D de código aberto possibilita a criação de lotes muito pequenos, possibilitando modelos de negócios que atendam clientes que desejam impressões altamente distintas (ou seja, produtos personalizados) (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

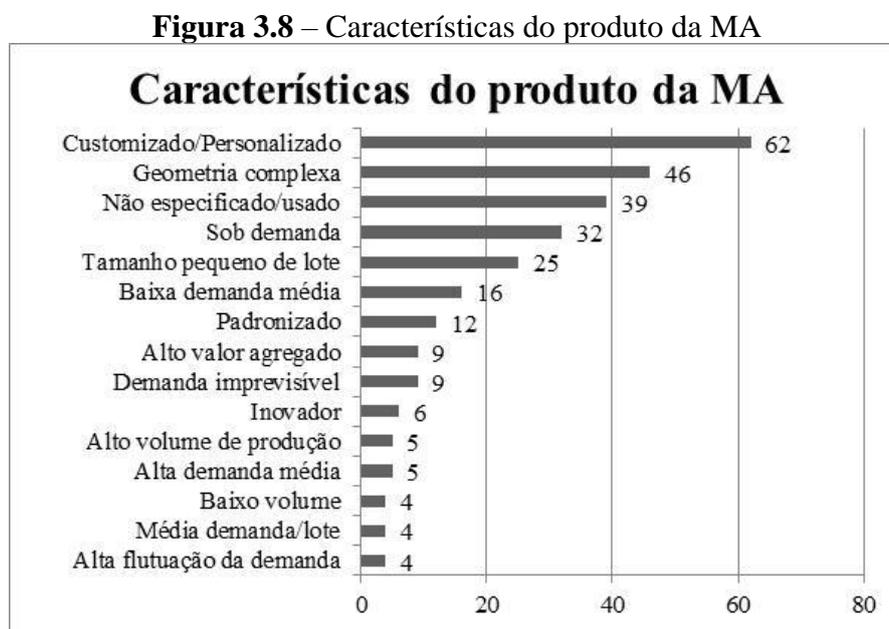
Nos segmentos da indústria com *minimum efficient technical scales* (METS) baixos, processos de produção curtos e baixos níveis de automação, a adoção da tecnologia de impressão 3D pode ser generalizada. Dessa forma, a tecnologia de impressão 3D ultrapassou o seu sucesso inicial como aceleração dos ciclos de inovação através de prototipagem rápida e agora está sendo aplicada na fabricação de uma ampla gama de produtos (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

Fabricantes co-localizados podem desenvolver sua competência de impressão 3D como produtores sob demanda de uma variedade de produtos, satisfazendo a demanda local por peças fora de produção e com longos *lead-time*. Se conseguirem economias de escala com a impressão 3D através de matérias-primas e competências, essa produção sob demanda emergirá como um novo segmento de negócios, em que os fabricantes existentes hibridam a OEM (*Original Equipment Manufacturer*) e fabricação com contratos. A MA concentrada e co-locada levará a supercentros de impressão 3D - instalações que concentram produção de baixo volume, customizada e de alta urgência. Isto será particularmente verdadeiro em operações de fabricação complexas com significativa heterogeneidade da peça (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; SASSON; JOHNSON, 2016; VINODH et al., 2009).

O potencial disruptivo da tecnologia de MA não está na sua capacidade de fazer réplicas físicas de produtos existentes (KURMAN, 2014), ela vai muito além disso, sendo que os princípios-chave da produção com a tecnologia de MA são: diversificação, customização, complexidade e redução de montagem (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Garrett (2014) confirma a complexidade sem custos adicionais e ainda acrescenta a maior liberdade de *design* do produto e produção sob demanda em lotes únicos.

Todos esses argumentos discutidos vão de acordo com o que foi mais identificado nos artigos analisados, em que as principais características do produto fabricado a partir da MA foram: customizado/personalizado, geometria complexa, sob

demanda, tamanho pequeno de lote, baixa demanda, e padronizado, conforme demonstrado na Figura 3.8.



Fonte: Dados da pesquisa.

As próximas subseções discorrem sobre os impactos da MA no modelo de negócios, e as motivações e limitações da adoção.

3.3.3 Impactos da MA no Modelo de Negócio

Após uma profunda análise de conteúdo dos artigos da RSL, verificou-se os seguintes impactos da adoção da MA no modelo de negócio das empresas:

i. Apoio à manufatura enxuta

A MA pode fornecer *just-in-time kits* personalizados de componentes para respectivo produto no ponto de montagem (HOLMSTRÖM et al., 2016), dessa maneira a sua aplicação é mais ideal em um ambiente em que as peças podem ser fabricadas sob demanda (HASAN; SMITH; RENNIE, 2008). Do ponto de vista da produção, a MA pode lançar produtos mais rápidos no mercado, reduzir processos de montagem sem uso intensivo de mão-de-obra e eliminar inventários de peças de reposição com peças fabricadas *just-in-time* (BUSACHI et al., 2016; DE VERE, 2013). Essas atividades *just-in-time* advindas da MA dão apoio à manufatura enxuta (*lean manufacturing*).

Especificamente na indústria aeronáutica, a MA muda o gerenciamento de projetos, eliminando os limites de fabricação e montagem, melhorando o *design* do produto e reduzindo o *lead-time* do desenvolvimento, produção e MRO em aeronaves. Portanto, a indústria pode tornar-se mais ágil e *lean* (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

ii. Capacidade de customização em massa

A customização em massa foi considerada o principal ponto da MA na fabricação e cadeia de suprimentos, segundo a literatura (CHAN et al., 2017). A MA permite customização e personalização de baixo custo com a possibilidade de produzir produtos diferentes, em um lote, para maximizar a utilização do volume construído (DESPEISSE et al., 2017a).

É mais provável que as tecnologias de MA sejam usadas na customização em massa, pois oferece a capacidade de criar produtos altamente personalizados em estoque limitado. Essa tecnologia permite customização em massa a baixo custo, assim os varejistas podem projetar e personalizar mercadorias sem tempo de entrega longo (ATTARAN, 2017). Dessa forma, os produtos customizados de lote pequenos podem ser integrados em grandes séries de produções em massa (GRESS; KALAFSKY, 2015).

Holmström et al. (2010) afirmam que a motivação para usar a MA na maioria dos casos é que as capacidades tecnológicas especiais dessa tecnologia são necessárias para fabricar peças customizadas que, de outra forma, seriam excessivamente caras ou impossíveis de produzir. A maioria dos principais fabricantes de aparelhos auditivos está usando a MA para personalizar em massa seus produtos em grandes volumes. Algumas dessas empresas produzem mais de mil aparelhos auditivos intra-auriculares por dia, cada um sendo único em sua forma e tamanho.

Além disso, a indústria odontológica personalizou a produção com a aplicação da MA. Alinhadores de dentes invisíveis personalizados são produzidos em massa utilizando os recursos exclusivos da MA. Também a fabricação de coroas e pontes de dentes está se convertendo, pelo menos parcialmente, para essas técnicas digitais (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017).

Sun e Zhao (2017) verificaram que o impacto da integração da impressão 3D na indústria da moda resultaria, assim, em uma mudança na eficiência da prototipagem do projeto e na capacidade de avançar para a customização em massa. Sun et al. (2015) afirmam que impressoras de alimentos introduzem capacidades artísticas para refeições requintadas e ampliam as capacidades de customização em massa para o setor de

culinária industrial. Isso beneficia um processo de fabricação de alimentos personalizados de alto valor e baixo volume que seria impossível de ser alcançado atualmente.

Com isso, verifica-se, que as tecnologias de MA são um amplo conjunto de métodos e ferramentas muito promissoras, capazes de implantar a personalização em massa unidade a unidade e materializar a manufatura de produtos apenas no tempo e lugar onde a demanda ocorre (MINGUELLA-CANELA et al., 2017).

iii. Ciclo de vida do produto

A tecnologia de impressão 3D superou seu sucesso inicial com uma aceleração dos ciclos de inovação por meio de prototipagem rápida e agora está sendo aplicada na fabricação de uma ampla gama de produtos (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016). Os benefícios da adoção da técnica *SLS* foram capturados em uma variedade de aplicações, abrangendo vários setores e diferentes estágios do ciclo de vida de desenvolvimento de produtos (LI; KUCUKKOC; ZHANG, 2017).

A MA pode fortalecer as competências de gerenciamento do ciclo de vida do produto (*product lifecycle management - PLM*), permitindo avanços para melhorar o desempenho da aeronave, como capacidade de inovação, frequência e tempo de colocação no mercado, garantia de qualidade e custos de desenvolvimento e controle de materiais. A prototipagem rápida permite a melhoria de duas principais fases do ciclo de vida de aeronaves, pré-viabilidade/viabilidade e *design*. Neste caso, a MA acelera os ciclos de desenvolvimento de projeto dos produtos (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

Segundo Ben-ner e Siemsen (2017) e Minetola e Eyers (2017), particularmente nas indústrias em que os clientes valorizam variedade e personalização, e os ciclos de vida dos produtos são curtos e os prazos de entrega são críticos, a MA já pode ser uma tecnologia mais eficiente para a produção do que a MT, pois cada um desses fatores reduz a importância de alavancar as economias de escala do mercado tradicional.

iv. Colaboração com fornecedores

Segundo Hämäläinen e Ojala (2015), no contexto de uma rede de negócios da MA, o valor existe principalmente nas relações com os clientes, mas também nas relações com fornecedores e funcionários. A MA permite detectar erros de projeto na sua fase inicial; portanto, o produto pode ser modificado e os casos de teste do protótipo são executados, antes da produção final, fazendo que haja uma colaboração direta com os fornecedores. Para Wagner e Walton (2016), no setor de aviação os *Original*

Equipment Manufacturers (OEMs) devem impulsionar o desenvolvimento de peças produzidas pela MA para seus fornecedores de nível 1. No entanto, isso é inverso, uma vez que os fornecedores de nível 1 devem chegar ao OEM com melhores formas de produzir peças. Os OEMs devem escrever as especificações das peças, de modo que esse é um esforço dos OEMs até os fornecedores de nível 1. Portanto, os OEMs estão impulsionando a adoção da tecnologia e verifica-se a necessidade de colaboração entre esses elos da cadeia. Assim, os OEMs precisam desenvolver capacidades de MA para não ficarem para trás neste importante desenvolvimento na fabricação. Isso também envolverá decisões para trabalhar com provedores de serviços, fornecedores e parceiros da cadeia de suprimentos de aviação para aumentar suas capacidades e realizar investimentos em MA.

Ainda segundo os autores, é evidente que a pressão por mais peças da MA deve vir dos fabricantes de aeronaves, mas a MA deve se estender além do OEM e também incluir fornecedores de *Maintenance, Repair and Overhaul (MRO* – manutenção, reparo e revisão), ficando clara a necessidade de colaboração entre eles. Além disso, Holmström et al. (2010) verificaram que apenas ao colaborar com outros OEMs, fornecedores de serviços de MA e usuários finais, é que a abordagem distribuída torna-se viável. Dessa forma, a colaboração com os fornecedores torna-se um fator imprescindível para o sucesso da adoção da MA, assim deve-se aumentar esse tipo de relacionamento entre empresas e seus fornecedores.

v. Competitividade

Em relação à competitividade, alguns autores afirmaram que a adoção da MA aumenta esse efeito, enquanto outros afirmaram que a competitividade pode ser reduzida. De acordo com Niaki e Nonino (2017), quando as tecnologias de MA são usadas, o tamanho da empresa, o tempo de uso e o objetivo do uso afetam principalmente a competitividade. Assim, eles propõem que a maioria das pequenas e médias empresas (PMEs) que implementaram a MA há algum tempo para a manufatura rápida (MR) aumentem a sua competitividade. De acordo com Hämäläinen e Ojala (2015), as empresas em uma fase inicial de adoção da MA indicaram que a tecnologia acelerou o desenvolvimento e a geração de novos produtos da empresa. A tecnologia de MA pode oferecer uma oportunidade de tornar a empresa líder no setor e obter uma vantagem competitiva. Mellor, Hao e Zhang (2014) concordam que uma das principais razões para a implementação da MA pode ser vista como a percepção do Diretor Executivo (*Chief Executive Officer – CEO*) sobre os possíveis benefícios da tecnologia;

por exemplo, no estágio em que a tecnologia está em sua infância, um *CEO* reconheceu o potencial de obter uma vantagem competitiva por meio da inovação e do investimento em tecnologia. Muir e Haddud (2018) também verificou essa vantagem competitiva na CS de peças de reposição das indústrias de engenharia mecânica e médica. Steenhuis e Pretorius (2016) estudou competitividade baseada em custos; eles descobriram que os produtos impressos em 3D pelos consumidores são competitivos em termos de custo com os produtos manufaturados tradicionalmente (MT), que podem ser comprados nas lojas. Os resultados da pesquisa realizada por Vinodh et al. (2009) implicam que a adoção da MA pode ajudar os líderes das indústrias tradicionais a perceberem a importância da adoção de *CAD* e impressoras 3D para obter agilidade no processo e, assim, tornar-se competitiva globalmente. Contudo, de acordo com Flores Ituarte et al. (2016a), os sistemas de MA não aumentarão a competitividade das empresas com produtos que foram projetados para serem fabricados e distribuídos convencionalmente. Eles afirmam que, para obter uma vantagem competitiva, as empresas precisam exigir políticas para promover as aplicações da MA e as transferências de tecnologia, criando pontes entre a academia, instituições de pesquisa, *clusters* industriais e agências de financiamento. Para as PMEs finlandesas, com produções rápidas em série, os autores acreditam que a competitividade pode ser aprimorada adotando métodos de *design* e produção para MA baseados no conhecimento digitalizado.

Inversamente, Holmström et al. (2016) relataram que as técnicas de manufatura digital, como a MA, estão longe de serem competitivas em termos de custo para manufaturas de grande volume. Simons (2018) comparou um produto produzido via MA (especificamente, fusão de leito em pó ou *powder bed fusion*) com um produto de MT (usinagem); ele comparou a competitividade de custos de acordo com a taxa de deposição de materiais e o preço da matéria-prima. A uma taxa de deposição de 50 cm³/h, o custo de empregar a MA para fabricar o produto não foi competitivo com o associado ao método da MT. No entanto, a uma taxa de deposição de 1000 cm³/h, e com um preço de matéria-prima igual aos preços dos materiais de tarugos, o processo de MA para fabricar peças básicas foi considerado competitivo em termos de custo.

vi. Complexidade da CS

A complexidade da CS também é um tópico em discussão na literatura. Bogers, Hadar e Bilberg (2016) acreditam que o processo de impressão depende de muitos pós-processos, que adicionam complexidade à CS, tornando-a mais imprecisa. No entanto, muitos outros autores descobriram que a adoção da MA pode reduzir a complexidade da

CS. De acordo com Despeisse et al. (2017a), Flores Ituarte et al. (2016a), Ford e Despeisse (2016), Khajavi et al. (2018a) e Montes (2016), A implementação da MA encoraja configurações mais simples da CS. Eyers e Potter (2015) estudaram o uso de MA através de diferentes *e-commerce*; eles verificaram a possibilidade de uma CS desintermediada, com menos elos, o que implica simplificação.

vii. Complexidade de produção

Quer o objetivo seja acelerar o prazo para o mercado ou enfrentar a complexidade, os sistemas de MA produzem diretamente em um único processo, ao contrário das tecnologias tradicionais de produção (SISCA et al., 2016). As principais necessidades de previsão da MA serão em capacidade agregada e materiais, reduzindo drasticamente a complexidade dos processos de planejamento de produção (BEN-NER; SIEMSEN, 2017). Autores afirmam, ainda, que a MA é livre de *set-up* (SASSON; JOHNSON, 2016; SIRICHAKWAL; CONNER, 2016) ou reduz seu tempo de execução (LIU et al., 2013). A MA reduz a necessidade de manuseio (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; PENG et al., 2018) e nenhuma ferramenta é necessária (HOLMSTRÖM et al., 2010, 2016; HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; KHAJAVI et al., 2018b). Uma determinada unidade de fabricação é capaz de imprimir uma grande variedade de produtos sem necessidade de troca de ferramenta (*retooling*) (GARRETT, 2014; WAGNER; WALTON, 2016) e não são necessárias ferramentas para montar as peças (LIU et al., 2013; PENG et al., 2018; WAGNER; WALTON, 2016). Assim, a MA é um processo de “ferramenta única”, já que, independentemente da geometria desejada ou do produto final (ou peças grandes de um produto final), pode-se produzir em um único processo, não havendo a necessidade de alterar qualquer aspecto do processo (GARRETT, 2014).

Mashhadi e Behdad (2017) complementam que, se o sistema de produção de MA ou os métodos híbridos estiverem bem estabelecidos e bem adotados na indústria, isso pode causar altos níveis de redução de complexidade. Assim, níveis mais altos de automação podem ser alcançados via MA, o que melhora o controle sobre os processos e diminui a complexidade. Montes (2016) afirma que a MA reduz a complexidade da prototipagem e, em alguns casos, a complexidade da produção em massa.

Weller, Kleer e Piller (2015) listaram, dentre outros princípios-chave da produção com a tecnologia de MA, a redução de montagem, em que há a possibilidade de produção direta de peças funcionalmente integradas, reduzindo-se as etapas de produção e intervenção manual no processo. Ademias, Wagner e Walton (2016)

ressaltam a produção de peças integradas, em que há impressão de múltiplas peças em uma só, reduzindo as etapas necessárias de fabricação.

viii. Confiabilidade da empresa

Em relação à confiabilidade da empresa, Chekurov e Salmi (2017) afirmam que a implantação da MA no fornecedor de peças de reposição ou no centro de reparo pode melhorar a confiabilidade da marca do fabricante do equipamento original (*Original Equipment Manufacturer - OEM*) e Holmström et al. (2016) afirma que a AM facilita a emissão de datas de entrega confiáveis ao cliente.

ix. Controle de qualidade e Qualidade do produto/serviço

A MA pode produzir produtos mais robustos e duráveis, com maior qualidade (DESPEISSE et al., 2017a; MONTES, 2016; MURMURA; BRAVI, 2017), e produtos esteticamente agradáveis (VINODH et al., 2009). Além disso, erros humanos de *design* podem ser detectados na fase inicial do projeto, permitindo que a segunda versão do protótipo seja facilmente corrigida; conseqüentemente, melhoraria a qualidade do produto (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015). Além disso, a transição de produtos feitos à mão para a MA de produtos personalizados aumentaria a eficiência do gerenciamento da qualidade (OETTMEIER; HOFMANN, 2016). Shouche et al. (2016) afirmam que, na indústria médica, a CS de hastes de quadril AM exclusivas e personalizadas produzia hastes de quadril com melhor ajuste e funcionalidade.

No entanto, as experiências relatadas sugerem que a qualidade continua sendo um problema significativo para a impressão 3D, o qual pode afetar a taxa de adoção no mercado consumidor. Os fabricantes tradicionais ainda podem não perceber a impressão 3D do consumidor como uma ameaça, porque a qualidade dos atuais produtos impressos em 3D do consumidor é menor do que a alcançável através do uso de métodos de MT (STEENHUIS; PRETORIUS, 2016). Os processos da MA por extrusão de materiais, em que os filamentos são usados, apresentam qualidade relativamente baixa para polímeros (DESPEISSE et al., 2017b; WAGNER; WALTON, 2016). No setor aeroespacial, garantia e controle de qualidade são dois dos principais motivos pelos quais a MA não é implementada; isso ocorre porque as peças da aeronave devem atender a padrões de projeto muito específicos para garantir uma operação de vôo segura. Portanto, as empresas devem garantir que suas peças atendam ao nível de qualidade exigido, pois isso é muito relevante, dada a variabilidade atual da MA (WAGNER; WALTON, 2016). Portanto, deve-se notar que, como a MA ainda é relativamente nova e as pesquisas fundamentais estão em andamento, muitas das

características da AM, incluindo a qualidade da superfície acabada, continuam em um nível que não é aceitável para substituir as tecnologias convencionais e tornar-se um sistema de fabricação amplamente aceito nas indústrias (ZANARDINI et al., 2015).

x. Custos

Muitos autores descobriram que a MA tende a aumentar os custos, enquanto muitos outros autores relataram que ela reduz os custos. As principais preocupações da adoção da MA são relatadas como sendo o custo dos equipamentos necessários e das matérias-primas (IVAN; YIN, 2017; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NIAKI; NONINO, 2017), e que o custo da produção localizada excederá as despesas relacionadas à compra e entrega de produtos no exterior (IVAN; YIN, 2017). Segundo Mellor et al. (2014), a consideração mais significativa é o custo do equipamento necessário para a MA, pois pode ofuscar os possíveis efeitos positivos da utilização interna da MA; isso é particularmente relevante no caso de sinterização direta a laser de metal (*direct metal laser sintering - DMLS*). Assim, a AM está associada a altos custos de investimento inicial (HOLZMANN et al., 2017b; NIAKI; NONINO, 2017).

Outra característica indesejável da MA que foi identificada pelos CEOs são os altos custos de processamento, atribuídos em grande parte à baixa velocidade na qual as peças são produzidas; esses altos custos resultam em altos custos gerais do produto que reduzem o potencial de mercado dos produtos DMLS (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Além disso, os custos de fabricação são consideravelmente altos em relação aos dos produtos da MT (SHOUCHE et al., 2016). Espera-se que a redução de peso, custo e tempo se torne uma vantagem no futuro; no entanto, atualmente, a impressão 3D é relativamente nova no mercado, e a falta de certificação é uma grande preocupação para os produtores de peças de aviação. Para produtos de baixo volume, espera-se redução de peso, tempo e custo; além disso, não são necessárias ferramentas para montar as peças. Para produtos de alto volume, o tempo, o custo e a velocidade são indesejáveis, mas espera-se que isso mude com o tempo. Porém, se a taxa de desenvolvimento das máquinas de impressão 3D for muito alta, a compra frequente da tecnologia mais nova se tornará muito cara para ser lucrativa (WAGNER; WALTON, 2016).

Em suas pesquisas, Muir e Haddud (2018) constataram que as peças de reposição impressas não tinham um preço que os elos importantes da CS estavam dispostos a pagar, tornando-as itens menos suportados. Segundo eles, nesta fase inicial de adoção da MA, o custo direto de peças de reposição pode ser maior, mas outros custos indiretos provavelmente serão mais baixos, por exemplo, gerenciamento de

estoque e custos associados ao tempo de inatividade. Assim, o custo total de aquisição das peças de reposição seria, em última análise, menor. Além disso, os avanços na área da MA reduzirão conseqüentemente os preços de peças de reposição. Assim, é provável que a satisfação do cliente com um melhor *lead time* aumente; no entanto, nesta fase de desenvolvimento da MA, pode não aumentar, se depender dos preços das peças de reposição.

Embora os custos de material e operação do processo 3D ainda possam ser mais altos do que os custos do processo de MT, existe um consenso geral de que a impressão 3D pode ajudar a reduzir o custo de desenvolvimento de produtos. Além dos benefícios relacionados aos custos, em relação ao processo de *design* do produto para a impressão 3D, uma desvantagem relatada é que o custo unitário de fabricação ainda é significativamente mais alto que o custo da MT. Este continua sendo o principal obstáculo para a realização de todo o potencial da impressão 3D. Isso significa que há uma necessidade premente de incorporar valor adicional às peças ou componentes impressos em 3D para compensar esse alto custo. Por exemplo, produtos impressos em 3D têm um molde mínimo. Essa característica a impressão 3D pode reduzir o custo de manutenção e do ferramental dos moldes, desnecessário na MA e, portanto, ser benéfico em alguns setores. Isso leva à próxima pergunta: como alavancar vários custos, como as economias de escala associadas à produção em massa? (CHAN et al., 2017).

No entanto, a MA tem implicações para as CS, pois sua simplificação pode permitir que a introdução do produto seja realizada a um custo menor (KHAJAVI et al., 2018a). Além disso, a fabricação localizada usando materiais básicos pode permitir que os materiais de entrada sejam adquiridos localmente, resultando também em CS mais curtas e custos de transporte mais baixos. Além disso, a economia associada à MA a torna ideal para fabricação de produtos e componentes sob encomenda, permitindo a produção de peças de reposição e custos mais baixos de customização e personalização. Então, a MA pode ser considerada um substituto direto dos processos de MT, pois seus principais benefícios econômicos estão na produção personalizada de mercadorias em lotes únicos ou pequenos (FORD; DESPEISSE, 2016).

Lin, Chen e Chiu (2014) concluíram em seu estudo que um sistema de produção de MA oferecia menor custo como resultado de menores níveis de demanda mensal. Como alternativa, os sistemas convencionais de produção industrial tendem a ter um desempenho melhor sob níveis mais altos de demanda mensal. Como a tecnologia de MA possui as características de altas taxas de pesquisa, desenvolvimento e fabricação

de produtos, ela produz um melhor desempenho para produtos personalizados e de pequenos lotes, com custos operacionais e de equipamentos. Shouche et al. (2016) reconheceram que a CS para hastes de quadril exclusivas e personalizadas com MA resultou em hastes de quadril com melhor ajuste e funcionalidade. Assim, houve menos desperdício de material e custos associados aos retornos. Portanto, a MA é disruptiva para peças com formatos complexos no curto prazo, porque as máquinas de ferramentas existentes são caras para substituir. A AM pode eliminar a necessidade de transporte de longa distância de mercadorias comum à CS tradicional e, portanto, reduzir o custo total de transporte, armazenamento e estoque. A AM tem o potencial de alterar fundamentalmente a CS futura de peças produzidas local ou regionalmente, reduzindo a necessidade de plantas centralizadas de produção em massa. Isso poderá reduzir os custos logísticos e aumentará a velocidade de retorno, por exemplo de aeronaves reparadas ao serviço de manutenção (WAGNER; WALTON, 2016).

Além disso, em termos de retorno sob investimento, apenas as empresas que utilizam plástico como matéria-prima, com o objetivo de prototipagem rápida têm um período de retorno sob investimento prolongado, destacando os benefícios econômicos oferecidos pela MA sob a condição de MR de peças metálicas (NIAKI; NONINO, 2017). Holzmann et al. (2017b) analisaram várias oportunidades de negócios para empreendedores usuários na indústria de impressão 3D com base no custo de exploração de oportunidades e no número de clientes em potencial. Eles descobriram que existem quatro tipos possíveis de negócios que podem ser classificados de acordo com o número de clientes em potencial e se eles têm um custo alto ou baixo de exploração de oportunidades. No entanto, surpreendentemente, a combinação mais frequente observada em sua estrutura apresenta os dois extremos, ou seja, um baixo número de clientes em potencial e alto custo de exploração de oportunidades, ou um alto número de clientes em potencial e baixo custo de exploração de oportunidades.

xi. Democratização da produção

A indústria será impactada mais significativamente pela MA por meio da democratização e desintermediação na indústria de transformação (HOOVER; LEE, 2015). A MA pode eliminar a necessidade de suprimento global, descentralizando a CS, além de abrir caminho para a democratização do produto e projetos colaborativos (MASHHADI; BEHDAD, 2017). Essa tendência de democratização é ainda mais acelerada pela diminuição contínua do preço das impressoras 3D (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). No sistema de produção descentralizado, o plano de negócios é

projetado com base na localização e acessibilidade. Nesse sistema, acessibilidade refere-se à capacidade de um fabricante de 1) oferecer aos consumidores as impressoras necessárias para imprimir suas peças, se eles não tiverem uma e 2) oferecer as habilidades necessárias para criar um modelo, se os consumidores não tiverem conhecimento para fazer eles mesmos (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

xii. Dependência com o fornecedor

Em relação à dependência com o fornecedor, Mashhadi, Esmailian e Behdad (2015) descobriram que há menos fornecedores nas CS baseadas na MA e Niaki e Nonino (2017) constataram que a disponibilidade limitada de matérias-primas e a escassez de fornecedores conferem alto poder de negociação aos fornecedores de materiais da MA, apesar dos esforços para desenvolver novos materiais viáveis. Isso também pode aumentar a dependência com os fornecedores. Por conseguinte, Mellor, Hao e Zhang (2014) observaram em seu estudo que, à medida que os sistemas de MA amadureceram, muitas empresas agora têm suprimentos internos; isso reduziu a quantidade de material solicitado a fornecedores especializados; diminuindo assim a dependência com o fornecedor. Eles também declararam que, embora essa baixa dependência tenha afetado significativamente determinados mercados de empresas, em muitos a mudança foi menos severa; além disso, embora a demanda possa ter diminuído, ela não desapareceu.

xiii. Descentralização da CS

A MA reverterá as tendências em direção à centralização organizacional, esta dará lugar à descentralização e localização (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; JIANG; KLEER; PILLER, 2017). A tecnologia pode reduzir potencialmente a necessidade de logística, pois os projetos podem ser transferidos digitalmente, levando a uma descentralização da fabricação (ATTARAN, 2017).

A mudança das atividades produtivas dos fabricantes para os consumidores desafia a natureza centralizada dos sistemas de produção e, portanto, exige uma descentralização das cadeias de suprimentos (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). No sistema de produção descentralizado, o plano de negócios gira em torno da localização e acessibilidade. A localização refere-se ao fato de que um fabricante poderá utilizar lojas de marcas locais (ou outras instalações) para a produção de peças de baixo volume. Além disso, a localização também pode ser implementada em um foco de produto localizado, pois o fabricante poderá adaptar os produtos aos seus mercados. Do ponto de vista da cadeia de suprimentos, a produção descentralizada pode se manifestar

como fabricação com tecnologias de MA em várias lojas em todo o mundo (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016).

Dando mais um passo no sistema descentralizado de produção centrada no consumidor, o fabricante pode fornecer uma plataforma para impressão em casa (às vezes referida como a abordagem “*prosumer*” = *producers* + *consumers*) (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; DE VERE, 2013; MINETOLA; EYERS, 2017; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). No caso do *prosumer*, a cadeia de fornecimento é ainda mais curta porque a distribuição final não é necessária (MINETOLA; EYERS, 2017).

As atividades produtivas mudam do fabricante para o consumidor, o que leva à necessidade de descentralizar e desacoplar a organização da cadeia de abastecimento do fabricante para assumir o papel central do consumidor individual no processo de criação e captura de valor. Os autores citam a abordagem “*Glocalized*”, em que os produtos são fabricados localmente, mas seu projeto pode ser de qualquer outro lugar. Assim, envolve o conceito de produção localizada e a descentralização da cadeia de suprimentos, enquanto ainda fornecem valor ao fabricante (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; GARRETT, 2014; JIANG; KLEER; PILLER, 2017).

Estudos mostram a cadeia de suprimentos centralizada e descentralizada (ou distribuída) da MA, além da convencional (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; HOLMSTRÖM et al., 2010; LI et al., 2017; STRONG et al., 2017). Embora a MA centralizada possa reduzir os requisitos de manutenção de estoque, a MA descentralizada pode evitar a necessidade de retenção de estoque, bem como problemas de distribuição e reduzir os impactos do transporte (KELLENS et al., 2017).

É evidente que o custo variável total da cadeia de suprimentos convencional é maior do que o das cadeias de suprimento centralizadas e descentralizadas adotando a MA. A estrutura descentralizada é a melhor opção para reduzir as emissões totais de carbono de uma perspectiva da cadeia de suprimentos. Além disso, a cadeia de suprimentos descentralizada adotando a MA tem o menor custo, enquanto a cadeia de suprimentos convencional tem o maior custo (LI et al., 2017).

A CS centralizada é mais adequada para peças com baixa demanda média; flutuação da demanda relativamente alta e *lead-time* de produção mais longo. A distribuída é adequada para peças com uma demanda alta, média ou muito estável e curto *lead-time* de fabricação (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016). Um *hub* local também proporcionaria benefícios em termos de transporte mais eficiente de matérias-primas, mas aumentaria o transporte de peças acabadas. Na verdade, esse tipo de centro

de manufatura local é semelhante aos terminais de logística existentes, buscando os benefícios de localização e centralização (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017).

Todavia, na manutenção de aeronaves, foi identificado que a implantação centralizada ou distribuída de sistemas de MA depende da utilização esperada da sua capacidade. Com uma baixa utilização esperada, a implantação da tecnologia centralizada torna-se a alternativa mais viável. Como resultado, a implantação centralizada da MA tem uma vantagem inicial de custo em relação à implantação distribuída (HOLMSTRÖM et al., 2010).

xiv. Digitalização do produto

Como o próprio sinônimo da MA já revela (fabricação digital direta), a MA é um componente promissor da digitalização da manufatura (WAGNER; WALTON, 2016). As tecnologias digitais assumem uma parte cada vez mais importante na produção. Enquanto o movimento para a digitalização da fabricação ou fabricação digital começou há décadas com a adoção progressiva de máquinas CNC (*Computer Numerical Control*) e outros sistemas de fabricação controlados por computador, a tendência acelerou significativamente ao longo dos últimos anos, em particular devido ao advento das tecnologias de impressão 3D (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

As tecnologias digitais levaram a grandes mudanças nas indústrias que as adotaram. Uma das principais conseqüências da digitalização foi transformar objetos tangíveis em intangíveis (por exemplo, um registro de vinil em um arquivo MP3, um filme em um vídeo digital, um livro em um *e-book*). Por esta razão, a digitalização de produtos também é frequentemente referida como uma “desmaterialização” (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Pode-se ter, assim, o desenvolvimento da indústria paralela de escaneamento 3D, que se refere à capacidade de transformar objetos físicos em arquivos digitais (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

xv. Eficiência da produção

A MA pode ajudar a aumentar a eficiência da produção (EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; WAGNER; WALTON, 2016), porque pode reduzir o volume de mercadorias obsoletas (DESPEISSE et al., 2017a) e minimizar o desperdício de fabricação (FLORES ITUARTE et al., 2016a; FORD; DESPEISSE, 2016; MONTES, 2016; SCHNIEDERJANS, 2017). Além disso, a MA incentiva menos uso de matérias-primas durante a produção, minimizando o desperdício de material (NIAKI; NONINO, 2017); Oettmeier e Hafmann (2016) especificaram que a transição de produtos feitos à mão para a MA de produtos personalizados aumentaria a utilização de

material como resultado da introdução da possibilidade de reutilizar material não processado. No entanto, Wagner e Walton (2016) relataram que uma das desvantagens da MA é a complexidade do processo de produção, que pode reduzir a eficiência da produção; no entanto, eles não forneceram uma discussão detalhada sobre esse tópico.

xvi. Eficiência de inventário

A adoção da AM pode reduzir a necessidade de manter grandes estoques de cada componente usado para criar um único produto (EMELOGU et al., 2016; FLORES ITUARTE et al., 2016a; NIAKI; NONINO, 2017; RYLANDS et al., 2016), e de produtos finais (SASSON; JOHNSON, 2016), reduzindo ou eliminando o desperdício de estoque, incluindo mercadorias não vendidas e obsoletas (DESPEISSE et al., 2017a). Além disso, uma razão para o uso da MA é a eliminação de grandes estoques de peças de reposição caras e de baixa movimentação, que anualmente representam uma despesa de vários bilhões de dólares para os diversos setores (EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; MUIR; HADDUD, 2018; WAGNER; WALTON, 2016). Lin, Chen e Chiu (2014) provaram que, para a maioria dos níveis de demanda, um sistema de produção baseado na MA resulta em melhor desempenho em termos da quantidade de trabalho em processo (*WIP*).

Alternativamente, Eyers e Potter (2015) declararam que os canais de comércio eletrônico (*e-commerce channels*) para os modelos de MA com fabricação mais localizada e de usuários, geralmente ,resultariam em custos de transporte mínimos ou inexistentes para o consumidor; no entanto, os custos de matéria-prima seriam mais altos, pois cada local de fabricação exigiria estoque para manter a produção. Em todas as versões de *e-commerce*, é provável que haja poucas diferenças em termos de estoque de produtos acabados, pois a maioria dos produtos da MA é feita sob encomenda para os consumidores. Holmström e Gutowski (2017) afirmam que, quando há um curto prazo de entrega para um grande número de peças, as desvantagens da baixa velocidade da produção baseada em MA podem superar os benefícios da produção sob demanda. Especificamente, seriam necessários *buffers* de inventário; eles aumentariam o risco de obsolescência e minimizariam os benefícios potenciais da redução do consumo de material. Assim, Sasson e Johnson (2016) declaram que essas condições poderiam aumentar o estoque de matérias-primas.

xvii. Eficiência logística

Há uma drástica redução nas operações logísticas identificada na implementação da MA (NYAMEKYE et al., 2015), a distância cairá de milhares de quilômetros e

logística complicada para produção local/regional e logística de curta distância (SASSON; JOHNSON, 2016). A tecnologia pode reduzir potencialmente a necessidade de logística, pois os projetos podem ser transferidos digitalmente, levando a uma descentralização da fabricação (ATTARAN, 2017). Os produtos não precisam mais ser transportados para distribuidores ou varejistas após serem produzidos pelos fabricantes. O efeito disso é uma redução na necessidade de armazenagem, transporte e embalagem (LI et al., 2017).

Vários riscos relacionados à rede e interrupções externas podem ser evitados com a adoção da tecnologia de MA (GHADGE et al., 2018). Para os fabricantes de aeronaves, as peças produzidas localmente permitem uma redução no estoque e menos chances de problemas (desordens) na cadeia de suprimentos (WAGNER; WALTON, 2016). A MA diminui o comprimento do caminho de suprimento, eliminando uma camada da cadeia de suprimentos, o que resulta em um efeito chicote muito mais baixo (MASHHADI; BEHDAD, 2017). Essa oscilação conhecida como efeito de *pipeline* em sistemas de cadeia de suprimentos é mais forte na CS tradicional do que na CS baseada na MA (MASHHADI; ESMAEILIAN; BEHDAD, 2015).

Assim, os impactos da MA em vários elos da cadeia de suprimentos podem iniciar uma redução na demanda por transporte global de bens físicos e atividades de estoque (MOHR; KHAN, 2015). Reduzir o transporte deslocando a manufatura para mais perto do mercado pressupõe que, não apenas a produção de peças possa ser localizada, mas também a montagem. Com isso, o transporte por mar, terra e ar pode ser drasticamente reduzido (BEN-NER; SIEMSEN, 2017). A demanda por transporte multimodal diminui significativamente, mas o transporte terrestre puro prevalecerá (CHEN, 2017a).

Porém, o transporte reduzido oriundo da localização da produção de peças é limitado pela necessidade de transportar matérias-primas e consolidar o processamento adicional - como a montagem - em locais centrais (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017).

xviii. Flexibilidade da CS

Alguns autores defendem o uso da MA para obter uma CS mais flexível, simplificada ou compactada (DESPEISSE et al., 2017a; FLORES ITUARTE et al., 2016a). Segundo Despeisse et al. (2017a), a MA permite que as mercadorias sejam produzidas sob demanda no ponto de uso, no espaço e no tempo, de acordo com as especificações exatas necessárias. Esse acesso à manufatura local sob demanda melhora

a flexibilidade e a capacidade de resposta às demandas de mercado em rápida mudança. No entanto, uma CS baseada em MA é menos preparada para se ajustar às mudanças repentinas na demanda (SHOUCHE et al., 2016).

xix. Flexibilidade da produção

A MA é uma tecnologia promissora e única para apoiar a fabricação futura. Ela desempenha um papel significativo na produção de peças altamente personalizadas e complexas de maneira flexível e econômica (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; PENG et al., 2018).

Como resultado, pode-se afirmar que a MA trouxe não apenas uma inovação de processo (modo de produção em camadas que aumenta a flexibilidade e diminui o uso e o desperdício de material), mas também inovação de produto (NIAKI; NONINO, 2017). Assim, a MA permite mais heterogeneidade e flexibilidade no *design* do produto (MASHHADI; BEHDAD, 2017).

As propriedades de vários materiais da impressão 3D podem ser manipuladas através de técnicas de modelagem 3D que permitem mais flexibilidade e conforto nos produtos finais impressos (SUN; ZHAO, 2017). Com a MA a liberdade de ferramentas, bem como a possibilidade de fabricar produtos sem ter moldes, é um aspecto crítico da MA para produzir diferentes produtos em uma única máquina. Essa flexibilidade é reforçada pela capacidade de produzir produtos diferentes em uma única execução (POUR et al., 2016).

A flexibilidade é alta porque a sequência e o volume de produtos podem ser alterados sem penalidades no custo da fabricação. Na fabricação, a MA oferece novas dimensões de flexibilidade para produzir produtos altamente customizados sem penalidades e mesmo com pequenos trabalhos de montagem manual (fabricação rápida). As empresas de manufatura que aumentam sua flexibilidade com a MA são capazes de atender às preferências flutuantes dos clientes, ao mesmo tempo em que fortalecem sua dominância no mercado ao longo do tempo. Ambos os tipos de modelos de estrutura de mercado oferecem informações sobre os impactos potenciais quando as empresas adotam a tecnologia para aumentar sua flexibilidade de moldes de fabricação (DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; LI et al., 2017; ROMEROTORRES; VIERA, 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

Outro tipo de flexibilidade, que é importante para a MA, é a flexibilidade da introdução de novos produtos. A manufatura aditiva adiciona essa flexibilidade porque as redes de MA podem introduzir novos produtos muito rapidamente graças aos

processos de desenvolvimento e produção digitais (SPALT; BAUERNHANSL, 2016). Em geral, as empresas de nível iniciante acreditam que a tecnologia MA permite um serviço mais flexível e rápido, além de uma melhor oferta de produtos (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; MONTES, 2016).

Qualquer aprendizado específico da máquina da MA pode ser aplicado a uma ampla gama de produtos, enquanto que na MT, o aprendizado é frequentemente muito específico do produto, já que as máquinas envolvidas são menos flexíveis (BEN-NER; SIEMSEN, 2017). Esta forma de manufatura rápida, em modo de produção em massa, pode ser muito rentável e o processo muito mais flexível do que a fabricação convencional, quando a forma das peças é complexa e os requisitos para os materiais são especiais (HOLMSTRÖM et al., 2010).

xx. Fluxo de informação

Com a MA, a produção pode ocorrer mais perto do mercado, deslocando fluxos de material e informação de um sistema linear para uma rede mais agrupada. Portanto, o caminho médio do suprimento é reduzido e a CS pode ser mais responsiva. Essa descentralização da CS reduz o efeito da amplificação da demanda (MASHHADI; BEHDAD, 2017). Garrett (2014) descobriu que os projetos, e não os produtos, são globalizados, o que significa que os arquivos digitais podem ser impressos em qualquer lugar por qualquer impressora para atender aos padrões de *design*. A introdução da Internet eliminou a distância como fator no processo de transmissão de informações, pois permite a transmissão instantânea no espaço. A MA permitiu a produção instantânea em escala global e transformou a distribuição do produto, pois os artefatos físicos são representados em um arquivo digital.

xxi. Formato das peças

A MA trouxe não apenas uma inovação de processo (modo de produção em camadas que aumenta a flexibilidade e menos uso e desperdício de material), mas também inovação de produto. A implementação de tecnologias de MA permite a concepção e produção de peças complexas totalmente personalizadas (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; LIU et al., 2013; NIAKI; NONINO, 2017; PENG et al., 2018; SIRICHAKWAL; CONNER, 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Uma das principais vantagens das tecnologias de Manufatura Aditiva é sua capacidade de fabricar projetos complexos com estruturas internas intrincadas (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015).

A MA permite a construção de estruturas de produtos altamente complexas que não poderiam ter sido construídas usando processos tradicionais de fabricação subtrativa (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017), devido ao aumento da complexidade da cadeia de suprimentos (MASHHADI; BEHDAD, 2017). A MA permite a produção relativamente fácil de produtos complexos e pode reduzir o tempo de produção geral à medida que várias etapas de fabricação/montagem são consolidadas (STRANGE; ZUCHELLA, 2017).

A MA oferece complexidade de graça, ou seja, permite a complexidade do *design* do produto e um maior número de variantes de produtos sem aumento nos custos de fabricação. A complexidade é gratuita porque a complexidade adicional de *design* e a variedade de produtos não incorrem em custos adicionais na fabricação (MASHHADI; BEHDAD, 2017; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

xxii. Impacto ambiental

Em relação ao impacto ambiental, parece haver uma necessidade evidente de tecnologias de reciclagem para acompanhar o aumento do uso de impressoras 3D, ou então a tecnologia pode servir para aumentar a proliferação de resíduos. Se as tecnologias de reciclagem não acompanharem, a impressão 3D de baixo custo pode estar criando uma pilha crescente de lixo. Esse problema já existe nos produtos da MT e pode ser agravado (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016). Além disso, Niaki e Nonino (2017) identificaram uma potencial toxicidade dos materiais utilizados pelas impressoras 3D.

No entanto, alguns autores demonstraram que a adoção da MA reduz o impacto ambiental. Segundo eles, a MA pode levar a economia de material e energia (DESPEISSE et al., 2017a; FLORES ITUARTE et al., 2016a; FORD; DESPEISSE, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; NIAKI; NONINO, 2017; SHOUCHE et al., 2016). Portanto, a MA permite a montagem simplificada do produto com menos diversidade de materiais, o que pode aumentar a reciclagem (DESPEISSE et al., 2017a; NIAKI; NONINO, 2017; OETTMEIER; HOFMANN, 2016). As impressoras RepRap são capazes de fabricar produtos diretamente a partir de ácido polilático (PLA); este material pode ser facilmente derivado da fermentação do milho e é biodegradável (EYERS; POTTER, 2015). De acordo com Ford e Despeisse (2016), o impacto ambiental da logística pode ser reduzido com a implementação de materiais básicos da MA. Eles afirmam que a MA desempenhará um papel na transição para um sistema industrial mais sustentável, pois a aplicação dessa tecnologia cria oportunidades para

produção e consumo mais sustentáveis. Adicionalmente, Cerdas et al. (2017) afirmam que a operação de empresas de manufatura que empregam sistemas de MA centralizados é altamente restrita por regulamentos e padrões de produção que, conseqüentemente, reduziram o impacto das atividades de manufatura. No caso de sistemas de MA distribuídos, pode haver um aumento da complexidade da regulação dos processos de produção, levando a aumentos do impacto ambiental dos produtos por peça.

xxiii. Integração dos departamentos

As tecnologias de impressão 3D podem permitir que a empresa avance rapidamente a montante ou a jusante na cadeia de suprimentos. Por exemplo, as empresas podem abandonar a fabricação aos clientes e se concentrar no *design* e no serviço. As empresas de *design* que dependiam de intermediários para a fabricação de seus produtos podem decidir realizar internamente a fabricação. Isso também significa que as empresas podem adaptar mais facilmente o "comprimento" de seu modelo de negócios ao assumir mais atividades (ou desistirem de algumas delas). Assim, a MA permite alterar rapidamente o grau de integração vertical das empresas (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Na indústria de brinquedos, Chen (2017b) verificou que a manufatura orientada a serviços baseada na impressão 3D integraria os vários departamentos da empresa, tornando-os mais integrados em vários aspectos. Os departamentos que mais deveriam se integrar, segundo o autor, são os de *design* (P&D), fabricação e *marketing*. Durão et al. (2016) concluíram em seu estudo que há um aumento na integração e dependência da cadeia de suprimentos distribuída, uma vez que todo o processo pode ser controlado remotamente. Adicionam ainda que, à medida que a integração aumenta, considerando o processo de fabricação e monitoramento, surge a necessidade de uma rede eficiente.

xxiv. Interação com o cliente/consumidor

Uma cadeia de suprimentos integrada da MA também resultará em um enorme impacto na maneira como os produtos são distribuídos, promovidos em um ambiente de varejo, e na interação com os consumidores por meio de serviços de personalização (SUN; ZHAO, 2017).

A MA permite a customização e a personalização de baixo custo com a possibilidade de produzir produtos diferentes em um lote para maximizar a utilização do volume construído. Isso cria oportunidades para novos modelos de negócios inovadores

com colaborações crescentes dentro do ecossistema de negócios de MA, por exemplo, interações diretas entre consumidores e produtores (DESPEISSE et al., 2017a).

Em empresas, como fabricantes de produtos finais com a MA, há um relacionamento ainda mais forte com os clientes, pois precisam construir uma comunidade para co-criar seus produtos com seus clientes, intercambiar conhecimentos em um nível mais alto e interagir com os clientes de seus clientes (MONTES, 2016).

xxv. Liberdade de *design*

Para Strange e Zucchella (2017), a Indústria 4.0 pode trazer uma mudança de atividades de manufatura isoladas para fluxos automatizados, otimizados e totalmente integrados de produtos e dados dentro das cadeias de valor (globais). Com base nos *insights* da pesquisa sobre manufatura rápida, é razoável sugerir que vincular as possibilidades associadas à produção local e de pequena escala com o potencial de transferir e compartilhar informações relacionadas aos produtos e ao processo de produção em uma rede de atores permite um aumento da inovação em grande escala (MUITA; WESTERLUND; RAJALA, 2015).

Alguns autores dizem que a impressão 3D irá alterar o *design* tradicional e a fabricação em um nível de inovação comparável à invenção da eletricidade ou da Internet (BARRON et al., 2016). Usar processos de MA como uma tecnologia de fabricação exige que projetistas e engenheiros repensem o *design* para manufatura (*Design for Manufacturing - DfM*) e o *design* para manufatura e montagem (*Design for Manufacturing and Assembly - DfMA*) (MURMURA; BRAVI, 2017). Com a MA pode-se aplicar o conceito de postergação conhecido como Engenharia sob encomenda (*Engineering to Order - ETO*), no qual o produto é projetado e produzido com base na ordem do cliente (MORADLOU; BACKHOUSE, 2016).

Garett (2014), Minetola e Eyers (2017) e Sisca et al. (2016) explicam que há maior liberdade de *design* do produto com a utilização da MA, posto que há a ausência de necessidade de ferramentas e moldes. Ademais, com a MA é possível a reutilização do modelo de *design* que é uma fonte potencial de economias de escala. Assim, um modelo de *design* baseado em padrões que é fácil modificar e pode ser reutilizado, muitas vezes, para diferentes propósitos pode tornar-se uma nova fonte de competitividade para empresas de fabricação (HOLMSTRÖM et al., 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016). Com isso, a capacidade de acessar peças quase instantaneamente permite um processo mais fluido de desenvolvimento e *design* de produtos (ATTARAN, 2017).

Além disso, a liberdade de *design* das restrições das técnicas existentes requer novas formas de pensar os produtos existentes e novos. A vantagem competitiva está na capacidade de visualizar produtos sistemicamente, em vez de conjuntos de peças montadas. Em essência, a MA exige de seu usuário repensar as funcionalidades do produto, a fim de otimizar efetivamente os produtos existentes e, até mesmo, criar novos produtos nunca antes vistos (PILKINGTON; FRANDSEN; REHNBERG, 2015).

Entende-se, assim, um novo conceito que seria o *Design* para Manufatura Aditiva (*Design for Additive Manufacturing - DfAM*), com novas possibilidades de *design* e inovação e *Design* para Manufatura Aditiva Sustentável (*Design For Sustainable Additive Manufacturing - DfSAM*) incluindo o conceito de sustentabilidade (DE VERE, 2013; POUR et al., 2016). Muitos produtos podem ser redesenhados quase totalmente com foco em outros aspectos críticos, como funcionalidade aprimorada e economia de material sem comprometer nenhum dos atributos. O envolvimento do cliente no processo de *design* poderá criar “*prosumers*”, que são indivíduos ativamente envolvidos na criação de um produto e, ao mesmo tempo, são seus principais consumidores (MOHR; KHAN, 2015). A MA não é apenas sobre a criação física de uma peça, ela facilita o *design* e a inovação sem penalidades de tempo ou custo. Isso é tão importante quando se considera que mais de 60% dos projetos enviados para ferramentas são modificados durante a produção (ATTARAN, 2017).

xxvi. Peso do produto

As lógicas de projeto específicas pensadas para a MA (ou seja, *Design for Additive Manufacturing - DfAM*) permitem gerenciar o projeto de peças para chegar à fabricação final de um componente mais leve se comparado à fabricação tradicional (SISCA et al., 2016). As impressoras 3D usam menos material porque a tecnologia pode imprimir estruturas ocas. Diminuindo o preenchimento de objetos, as impressoras 3D criam materiais leves sem sacrificar muito a resistência das peças (ATTARAN, 2017).

Dessa forma, do ponto de vista do produto, a MA permite produzir peças leves com alta relação resistência-peso (NIAKI; NONINO, 2017; NYAMEKYE et al., 2015; WAGNER; WALTON, 2016). Para o setor aeronáutica, a maior parte da energia seria economizada na fase de uso devido à redução de peso (VERHOEF et al., 2018). Esse benefício funcional pode ser vantajoso também para sistemas de transporte (por exemplo, aplicações automotivas e aeroespaciais) (CHUNG, 2018; KELLENS et al., 2017).

xxvii. Qualificação do trabalhador

Os trabalhadores precisam de educação formal, conhecimento técnico necessário e treinamento em máquinas da MA (GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014; KIANIAN; TAVASSOLI; LARSSON, 2015; MURMURA; BRAVI, 2017; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016). Oettmeier e Hofmann (2016) explicaram que a transição de produtos artesanais para a MA de produtos personalizados aumenta o número de possibilidades de treinamento de funcionários. Especificamente, seriam necessários novos conjuntos de habilidades e estruturas de trabalho, porque são necessários especialistas técnicos para operar o equipamento de digitalização e modelagem 3D, bem como as máquinas da MA. Assim, os inovadores precisam possuir um alto nível de conhecimento técnico, pois as atuais impressoras 3D para consumidores não são muito amigáveis. Steenhuis e Pretorius (2016) reforçam que as máquinas de MA não são tecnologias de apertar o botão; os resultados de sua pesquisa confirmaram que a maioria dos proprietários de impressoras 3D para consumidores enfrentavam dificuldades técnicas com a impressora. No entanto, em seu estudo, Niaki e Nonino (2017) descobriram que, com a adoção da MA, não é necessário empregar trabalhadores multifuncionais baseados em habilidades. Isso ocorre porque a impressão 3D cria, diretamente, produtos físicos a partir de um arquivo digital padronizado, e esses processos controlados por computador exigem um baixo nível de conhecimento do operador (GARRETT, 2014; MASHHADI; ESMAEILIAN; BEHDAD, 2015). Mohr e Khan (2015) afirmam que o processo de manuseio de matérias-primas da MA (por exemplo, pós ou bobinas de filamentos) é mais barato, mais seguro e requer trabalhadores menos qualificados do que os necessários para lidar com produtos semi-acabados e produtos finais.

xxviii. Quantidade de trabalhadores/trabalho

As tecnologias AM podem criar oportunidades de emprego (NYAMEKYE et al., 2015), sendo que mais funcionários são necessários para as fases implementadas de desenvolvimento e produção do produto nos setores de manufatura e serviços (KIANIAN; TAVASSOLI; LARSSON, 2015). De acordo com Garrett (2014), países em desenvolvimento sem grandes fábricas que empregam um grande número de trabalhadores podem se beneficiar ao incentivar empreendedores a instalar instalações 3D que projetam e fabricam produtos para consumo local. Isso expandiria as forças de trabalho qualificadas e os setores manufatureiros desses países para produzir bens adequados aos consumidores locais, reduzir a dependência de importações caras e colher diretamente os lucros dessa produção. Por outro lado, uma consequência do uso

de impressoras 3D é que a tecnologia pode deixar milhões de trabalhadores desempregados (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; WOODSON, 2015) como resultado da eliminação de muitos processos de montagem que exigem muito trabalho (DE VERE, 2013; LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; MASHHADI; ESMAEILIAN; BEHDAD, 2015; MUITA; WESTERLUND; RAJALA, 2015). Além disso, a MA gera mudanças nos padrões e na intensidade do trabalho, pois o processo é altamente automatizado e requer apenas recursos humanos nas fases de pré e pós-processamento (GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014). Para Tuck, Hague e Burns (2007), a implementação da MA reduz a necessidade de mão-de-obra nas fases de fabricação e acabamento.

xxix. Responsividade

Um tempo reduzido de colocação de produtos no mercado e mais liberdade de *design* parecem ser as duas principais vantagens percebidas pelos representantes de empresas que implementam tecnologias de MA (MURMURA; BRAVI, 2017; NIAKI; NONINO, 2017; RYLANDS et al., 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015). A MA pode aumentar a capacidade de resposta de um modelo de negócios, porque um tempo de resposta relativamente rápido do produto para os consumidores pode ser alcançado sem qualquer ferramenta. Também permite que os consumidores modifiquem o *design* com base nas amostras impressas em 3D, para que possam receber a versão revisada em um período relativamente curto. Além disso, a MA pode não apenas reduzir o *lead time* de desenvolvimento e o custo e o tempo necessários para o desenvolvimento e a fabricação do produto, mas também pode ajudar a compensar a incerteza da demanda, porque a CS pode ser mais responsiva como resultado de sua utilização. A MA permite que as mercadorias sejam produzidas sob demanda no ponto de uso no espaço e no tempo, de acordo com as especificações exatas necessárias. Esse acesso à manufatura local sob demanda aumenta a flexibilidade e a capacidade de resposta às demandas de mercado em rápida mudança. A natureza digital da MA também reduz os atrasos entre o *design*, a fabricação e a aplicação, fornecendo acesso direto aos projetos digitais. Além disso, a MA integra as etapas de vários processos em uma etapa para obter uma forma quase pronta (ou mesmo uma forma pronta) que resulta em economia de material, energia, tempo e custos (CHAN et al., 2017; DESPEISSE et al., 2017a; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; KNOFIUS; VAN DER HEIJDEN; ZIJM, 2016; MONTES, 2016; MORADLOU; BACKHOUSE, 2016; RYLANDS et al., 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016). Com a MA, é

possível produzir e entregar peças de reposição mais rapidamente e, em geral, reduzir o tempo necessário para o projeto e a produção convencionais de produtos, melhorando assim o ciclo geral de produção (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; MUIR; HADDUD, 2018). A diferença entre os prazos de entrega do produto para produção com a MA e MT pode ser um fator crítico que afeta a viabilidade econômica da produção com a MA, porque ela apresenta um prazo de entrega mais curto para peças complexas, mesmo quando os tempos de pós-tratamento são incluídos (EMELOGU et al., 2016). A transição de produtos feitos à mão para a MA de produtos personalizados tende a reduzir o prazo de entrega dos pedidos (por exemplo, eliminando a necessidade de determinadas entregas físicas) (OETTMEIER; HOFMANN, 2016). Vinodh et al. (2009) afirmam que uma empresa que emprega métodos de MT pode se tornar mais flexível adotando a tecnologia de impressão 3D; isso é particularmente verdade para empresas especializadas em prototipagem rápida.

Chiu e Lin (2016) constataram que, sob a condição de baixa flutuação da demanda, o *lead time* da MA aumentará em 35%. Sob a condição de um nível médio de flutuação, o prazo de entrega da MA será aumentado em 14%. Sob a condição de alta flutuação de demanda, o aumento no prazo de entrega da MA será quase 0%. Portanto, há uma troca entre a taxa de flutuação da demanda e o *lead time* da MA. Wagner e Walton (2016) verificaram que, para produtos de baixo volume, a adoção da MA reduz o peso, o tempo e o custo, e não são necessárias ferramentas para montar as peças. Para produtos de alto volume, o tempo, o custo e a velocidade aumentaram, mas espera-se que isso mude com o tempo. Além disso, Karania, Kazmer e Roser (2004a) observaram que a modelagem por deposição fundida (*FDM*), que é um tipo de processo da MA, é preferida para volumes de produção muito baixos quando são necessários prazos de entrega baixos; dessa forma, os altos custos marginais e as baixas taxas de produção do processo tendiam a impedir que ela fosse aplicada a maiores volumes de produção. Contudo, Souche et al. (2016) verificaram que uma CS baseada em MA era menos viável contra mudanças bruscas na demanda. Considerando isso, o custo e o tempo de fabricação são consideravelmente mais altos do que os associados à MT.

xxx. Risco do negócio

A MA leva à confiança dos gerentes para reduzir o risco de lançar um novo produto. O uso prolongado da MA resultaria em riscos menores com o mesmo nível de custo (DESPEISSE et al., 2017a; KHAJAVI et al., 2018a). As práticas ativadas pela MA também podem reduzir o consumo de material por meio de produção sob demanda,

o que reduz o risco de produzir peças para estoque que nunca serão usadas (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017), isso também é verdade para peças de reposição (SIRICHAKWAL; CONNER, 2016).

Do ponto de vista das operações e da cadeia de suprimentos, o risco de obsolescência do estoque deriva de alterações de engenharia (alteração da especificação) ou falta de demanda (por exemplo, uma peça de reposição que nunca é necessária). Apenas no início das apresentações do produto e no final do ciclo de vida do produto, é provável que a MA seja usada de maneira a reduzir o risco de superprodução de peças (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; MOHR; KHAN, 2015).

Com isso, a MA pode reduzir o *lead time*, o custo e reduzir significativamente os riscos de gerenciamento da cadeia de suprimentos (NYAMEKYE et al., 2015). Assim, vários riscos de rede e interrupções externas podem ser evitados com a adoção da tecnologia de MA (GHADGE et al., 2018). Além disso, a adoção da MA levará, em geral, à menos risco de fornecimento (*supply risk - SR*) e à uma melhor gestão (MUIR; HADDUD, 2018; STRANGE; ZUCHELLA, 2017).

xxxi. Saúde e segurança

Com relação à saúde e segurança do trabalhador, a MA pode melhorar esses fatores porque promove a redução ou eliminação dos produtos químicos tóxicos frequentemente usados nos processos de fabricação convencionais (GARRETT, 2014). Inversamente, Niaki e Nonino (2017) revelaram a potencial toxicidade dos materiais da MA; eles relataram partículas perigosas que podem causar abrasões e irritação nos olhos e, portanto, representam riscos à saúde e segurança humana.

xxxii. Servitização

A servitização de empresas de manufatura que vem adotando tecnologias de MA, amplia ainda mais o potencial de customização (ZANETTI et al., 2015). Isso também vale para as PMEs, para as quais a integração de tecnologias de ponta e atividades baseadas no conhecimento pode ser difícil e, portanto, elas preferem “comprar” ao invés de “fabricar” (ZANETTI et al., 2015). Sendo assim, o aumento de provedores de serviços de MA, são muito mais prováveis e pode até se tornar verdadeiros nos próximos cinco a dez anos (DURACH; KURPUWEIT; WAGNER, 2017).

Além das vendas de impressoras 3D, os principais *players* também estão adotando a MA como um serviço. Um número crescente de serviços relacionados à impressão 3D (a maioria deles *online*) agora é oferecido aos consumidores e às

empresas (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Assim, novos mercados e provedores de serviços já estão emergindo, como mostrado, por exemplo, no caso da *start-up Shapeways* que oferece serviços *on-line* de impressão (HOLMSTRÖM et al., 2016). Os clientes também podem usar serviços de impressão 3D para imprimir seus projetos ou podem alugar impressoras para o tempo de impressão desejado em um FabLab. Ou os consumidores podem encomendar um serviço de prototipagem rápida para cuidar todo o processo desde o desenho inicial até a impressão do objeto físico (HOLZMANN et al., 2017a).

Na pesquisa realizada por Chan et al. (2017), muitos entrevistados preveem que, à medida que mais fabricantes ou provedores de serviços de MA aparecerem no mercado, mais acessível estará a MA, podendo ser incorporada em várias aplicações na manufatura e em várias cadeias de suprimentos (CHAN et al., 2017).

Percebe-se, então, que a MA permite a criação de serviços e produtos que antes não eram possíveis ou que foram desenvolvidos de maneira muito diferentes (MONTES, 2016). Ademais, a MA está ao lado de uma infinidade de atividades intangíveis e intensivas em conhecimento, que não estão estritamente ligadas ao processo de fabricação. Atividades como otimização topológica, preparação da construção, suporte pós-venda ou até mesmo validação de sistemas, podem ajudar a explorar a tecnologia de ponta e muitas empresas podem até querer terceirizá-las para empresas de serviços mais eficientes (ZANETTI et al., 2015).

xxxiii. Tamanho do produto

As impressoras 3D só são capazes de produzir um objeto menor que o tamanho da plataforma da impressora. Isso coloca restrições do tamanho dos objetos que podem ser fabricados. Sem uma impressora grande o suficiente, às vezes as peças de um produto são fabricadas em segmentos; no entanto, isso requer tempo adicional para montar as partes do bem acabado, o que começa a impedir as vantagens da MA (ATTARAN, 2017). Por isso, hoje em dia, o tamanho da peça raramente chega a um metro (em média entre 200 e 350 mm), dependendo do tipo de máquina e do processo, portanto peças grandes que são necessárias em certos setores são difíceis de serem produzidas (SISCA et al., 2016).

xxxiv. Terceirização

Nyamekye et al. (2015) estudaram a MA a laser (*Laser additive manufacturing - LAM*), a qual tem a vantagem de produzir peças mais próximas do mercado e tem o potencial de transformar a cadeia de suprimentos para ser mais dinâmica nos setores de

manufatura. Para eles, isso pressupõe que a terceirização pode ser reduzida ou eliminada (NYAMEKYE et al., 2015), já que as empresas podem adquirir suas próprias impressoras e fabricar as peças quando necessário.

xxxv. Valor do produto

O surgimento de novas tecnologias de fabricação orientadas para facilitar a produção local agrega valor adicional. Por exemplo, a MA, incluindo impressão 3D, tornou-se um dos instrumentos da Indústria 4.0 (IVAN; YIN, 2017).

Uma fonte de valor da MA é a diferenciação potencial e a produção de peças especializadas para séries especiais de edição e produtos customizados. Outra fonte de valor é a diferenciação potencial que o fabricante pode oferecer para criar valor para o consumidor. A MA é capaz, então, de aumentar a capacidade de resposta às necessidades e mudanças do mercado. Isso cria principalmente valor interno, pois seus benefícios são direcionados às suas operações. A MA usa um modelo de negócio, que coloca mais ênfase no consumidor, cria, assim, além do valor interno, valor externo para usuários e consumidores (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

Em termos de aparência agradável, o valor agregado das tecnologias aditivas deve ser reconhecido na oportunidade de criar um *design* atraente através de formatos que não poderiam ser fabricadas de outra forma. A possibilidade de personalizar o produto com características pessoais diferenciadas é outro elemento-chave para atrair o cliente (MINETOLA; EYERS, 2017).

Niaki e Nonino (2017) identificam nos seu estudo que é razoável esperar uma demanda crescente por MA, bem como uma crescente disposição dos consumidores em pagar mais pelo maior valor oferecido. Esse valor mais alto é influenciado pela melhoria do atendimento ao cliente por meio da redução do tempo de colocação no mercado e da customização total, além de oferecer a possibilidade de cobrar preços mais altos, especialmente por peças feitas em metal.

Hämäläinen e Ojala (2015) observaram no seu estudo que o valor da empresa surgiria com novos produtos adaptados ao cliente e produzindo produtos da MA para uso real. As empresas enfatizaram que a MA amplia a oferta de produtos para incluir os segmentos de clientes existentes e novos. A MA tem potencial para criação de valor, não apenas entre os fornecedores atuais, mas também para novos parceiros e clientes. Além disso, os benefícios ambientais também foram altamente valorizados pelos entrevistados.

A influência mais importante da MA está na proposição de valor e criação de valor. Já que ajuda a aumentar a oferta de produtos e serviços, permite altos níveis de customização e permite que os clientes materializem seus desenvolvimentos de forma mais barata, rápida e com maior qualidade (MONTES, 2016; RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Dessa forma, o valor adicional proporcionado pela MA proporcionará oportunidades de negócios crescentes na fabricação de peças especiais, mas também ajudará a preparar o caminho para a fabricação de peças básicas, à medida que os aumentos das taxas de deposição e os custos de material forem reduzidos (SIMONS, 2018).

xxxvi. Variedade do produto

A tecnologia de MA conduz a fortes economias de alcance na diferenciação de produtos. Um produtor equipado com a MA é capaz de servir todo o mercado, como resultado, os mercados oferecem maior variedade de produtos, enquanto os consumidores recebem seus produtos conforme desejado (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Sendo assim, os usuários finais da MA podem usar a tecnologia para produzir uma variedade de peças para si e para os outros (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016).

A gama de objetos que podem ser fabricados com impressoras 3D é muito ampla e cresce constantemente (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016): protótipos, peças, moldes, ferramentas, partes do corpo (órgãos), próteses, brinquedos, arte, itens alimentares, instrumentos musicais, móveis, roupas, entre outras. As impressoras 3D podem ser usadas para imprimir também outras impressoras 3D (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Assim, de forma semelhante à prototipagem rápida, o ferramental rápido tem um impacto na proposição de valor das empresas, pois o menor custo de ferramentas e, posteriormente, de produção, significa que uma maior variedade de produtos pode ser oferecida (oferta de produtos) (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Na MA a liberdade de ferramentas, bem como a possibilidade de fabricar produtos sem ter moldes, é um aspecto crítico para produzir diferentes produtos em uma única máquina. Essa flexibilidade é reforçada pela capacidade de produzir produtos diferentes em uma única execução (POUR et al., 2016). Dessa maneira, uma determinada unidade de fabricação é capaz de imprimir uma grande variedade de tipos de produtos sem necessidade de trocar de ferramenta (GARRETT, 2014). Além disso, os fabricantes não precisam

armazenar diferentes tipos de materiais, mas sim os materiais para a MA, que podem ser usados para produzir diferentes tipos de peças e produtos (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; CHAN et al., 2017).

xxxvii. Vendas

Uma evidência empírica das vantagens da MA é a possibilidade de buscar uma estratégia de expansão de mercado, acessando novos segmentos de demanda cujos produtos ou serviços tenham que ser feitos sob medida. Dessa forma, além de introduzir novos produtos, a MA leva a novos mercados (NIAKI; NONINO, 2017). Com isso, as ferramentas rápidas produzidas a partir da MA podem afetar a entrega de valor da empresa, permitindo atender mais segmentos de mercado alvo. Além de ser usada para entrar nos mercados existentes, a mesma estratégia pode ser usada para mercados totalmente novos. Além disso, a MA permite atender qualquer nicho, independentemente de quão pequeno seja (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Um produtor equipado com MA é capaz de servir todo o mercado, assim permite que as empresas atinjam vários segmentos de mercado (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Para as pequenas e médias empresas (PMEs) em particular, pertencer ao ecossistema da MA pode fornecer uma entrada para novos segmentos e mercados de clientes (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015).

Todos os impactos da adoção da MA discutidos encontram-se no Quadro 3.3 e os autores que os citaram também estão listados. Destaca-se que os autores podem ter apenas mencionado o impacto para este ser considerado na pesquisa. A lista de artigos do Apêndice B traz quais trabalhos realmente realizaram pesquisas empíricas. A partir desses impactos identificados na literatura, fez-se um painel com especialistas para categorizá-los nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas – gestão de infraestrutura, produto, interface do cliente e aspectos financeiros - a próxima subseção apresenta esse processo.

Quadro 3.3 - Impactos da adoção da MA identificados nos artigos

Impactos da adoção da MA	Artigos		Total empírico / Total
	Não empíricos	Empíricos	
Apoio à manufatura enxuta	[9,21,22,45,56,97,103,127]	[42]	1/9
Capacidade de customização em massa	[1,2,3,7,9,17,35,38,44,48,65,75,76,83,99,106,122,121,126,127,128]	[11,15,24,29,34,51,69,82,85,130]	10/32
Ciclo de vida do produto	[2,5,66,68,81,93,102]	[14,40,80]	3/10
Colaboração com o fornecedor	[44]	[40,91,130]	3/4
Competitividade	[3,21,37,45,56,83,94,104,113,131,136]	[33,40,80,86,89,117,129]	7/18
	[45,113]	[33]	1/3
Complexidade da CS	[7]	-	0/1
	[3,5,7,9,10,22,23,26,36,37,43,45,47,48,66,67,72,75,81,83,97,99,102,103,106,109,114,118,122,128,133,135]	[24,30,33,34,58,84]	6/38
Complexidade da produção	[1,5,21,31,35,36,37,38,43,44,45,57,72,75,76,83,93,97,103,106,109,114,115,118,127,131]	[11,14,24,34,40,58,69,84,88,89,117,130]	11/37
Confiabilidade da empresa	[12,45]		0/2
	[66,103]	[130]	1/3
Controle da qualidade e Qualidade do produto	[3,6,43,44,62,71,75,87,89,95,103,104,106,115,120,125,127,138]	[24,40,84,88,91,112,129]	7/25
	[6,7,23,55,66,103,115,120,125]	[117,130,134]	3/12
Custos	[4,7,18,19,35,37,54,57,66,68,72,75,97,99,110,125,127,131,140]	[11,46,50,69,80,86,89,112,130]	9/28

Impactos da adoção da MA	Artigos		Total empírico / Total
	Não empíricos	Empíricos	
	[1,3,4,5,7,9,12,13,18,19,20,21,32,35,36,37,41,44,45,48,53,57,60,66,67,70,71,72,73,76,77,83,87,90,93,94,98,99,101,102,103,106,109,114,116,118,122,125,126,127,131,133,135,136,139,140]	[11,14,15,24,29,30,33,41,46,51,58,61,69,79,84,86,89,96,105,112,117,119,124,129,130,134]	26/82
Democratização da produção	[7,47,75,99]	-	0/4
Dependência com o fornecedor	[76]	[89]	1/2
	[5,45,66,99,109,118]	[80]	1/7
Descentralização da CS	[3,5,7,9,10,13,21,23,25,31,35,38,41,44,45,43,52,55,63,65,67,72,75,76,81,83,90,97,99,101,103,106,115,116,118,120,126,131,132,133,135]	[14,46,61,92,107,117,130]	7/48
Digitalização do produto	[7,9,76,89,99,101,127,136]	[88,91,130]	3/11
Flexibilidade da CS	[16,47,72]	[24,33]	2/5
	-	[112]	1/1
Flexibilidade da produção	[1,3,5,7,17,25,26,28,37,44,48,65,67,75,76,93,97,99,102,103,116,121,125,126,127,131,136]	[15,40,58,84,89,117,124]	8/34
Fluxo de informação	[35,75]	-	0/2
Eficiência da produção	[3,4,5,6,7,8,9,17,22,23,25,28,32,35,36,37,43,44,45,48,49,66,75,76,77,81,83,87,90,93,97,100,102,103,106,109,114,115,118,120,121,122,127,131,133,136]	[24,30,33,34,84,89,91,107,130]	9/55
	[5,7,13,17,18,43,66,67,75,76,87,100,118,131,140]	[130]	1/16
Eficiência de inventário	[1,3,7,8,9,21,22,35,37,43,44,45,55,57,65,72,76,83,87,90,102,103,106,114,126,127,133,135]	[24,29,30,33,34,40,69,86,89,105,130]	11/39
	[43,106]	[30]	1/3

Impactos da adoção da MA	Artigos		Total empírico / Total
	Não empíricos	Empíricos	
Eficiência logística	[3,5,8,13,25,32,35,37,38,43,55,67,72,75,76,83,90,97,103,106,121,124,125,126]	[29,30,34,117,124,130]	6/31
	[10,66]	[89]	1/3
Impacto ambiental	[2,3,4,6,8,9,12,16,18,23,31,35,36,37,43,48,49,55,66,67,70,76,81,83,87,90,93,97,102,103,106,115,118,122,123,128,131,133,135,136]	[24,30,33,34,40,89,91,112]	8/48
Integração dos departamentos	[27,32,99]	[14]	1/4
Interação com o cliente/consumidor	[7,21,25,84,91,99,101,105,121,126,129,131,136]	[24,84,91,105,129]	5/18
Liberdade de <i>design</i> do produto	[1,3,7,9,17,18,21,22,23,35,40,45,57,63,66,67,71,75,76,81,83,87,94,97,99,102,104,109,115,122,121,128,131,135]	[11,14,24,33,40,69,79,80,88,89,91,107,117,130]	14/46
Peso do produto	[1,2,3,8,16,18,22,45,43,48,55,70,76,87,90,109,115,118,123,128,130,131,133]	[24,40,61,80,89,130]	6/27
Qualificação do trabalhador	[5,6,25,28,36,44,73,97,118,133]	[59,88,91,117]	4/14
	[35,76,83]	[89]	1/4
Quantidade trabalhadores/trabalho	[35,90]	[59]	1/3
	[5,21,36,66,76,87,127,133]	-	0/8
Responsividade	[1,3,4,5,6,7,9,12,17,18,20,21,22,25,28,31,36,37,38,40,44,48,49,53,54,57,62,72,73,75,76,83,87,90,93,94,102,103,106,109,114,115,120,122,124,125,126,127,128,131,133,135,136]	[11,15,24,29,40,61,84,85,86,88,89,91,105,124,129,130]	19/70
	[44,54,83,114,130]	[15,82,112,130]	4/8
Risco do negócio	[1,37,43,53,57,90,99,114,118]	[11,24,58,86]	4/13

Impactos da adoção da MA	Artigos		Total empírico / Total
	Não empíricos	Empíricos	
Saúde e segurança	[35]	-	0/1
	-	[89]	1/1
Servitização	[9,25,45,99,106,137,136]	[11,14,46,84]	4/11
Tamanho da peça	[3,67,115]	[33,117]	2/5
Terceirização	[90]	[80]	1/2
Valor do produto/serviço	[7,51,81,98,99,100,103]	[24,40,50,51,84,89]	6/13
Variedade do produto	[4,5,7,9,17,35,45,48,65,66,75,76,83,87,96,99,101,106,124,131]	[11,24,34,40,79,84,85,91,105,117,124,129,130]	13/32
Vendas	[52,90,99,106,131]	[40,84,89]	8/3
Viabilidade de formatos complexos das peças	[2,3,5,8,9,17,21,25,28,31,32,35,38,44,55,72,75,81,93,97,100,103,114,115,118,122,130,131,136]	[24,30,33,34,42,78,82,89,107,129,130]	11/39

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.3.1 Painel de Especialistas

Esta subseção traz o processo de aplicação do método painel de especialistas (SILVEIRA et al., 2013, 2017), o qual teve a finalidade de atingir os seguintes objetivos: Categorizar os impactos da adoção da manufatura aditiva (MA) nos blocos de construção do modelo de negócio (MN) Canvas. Com a RSL foi possível identificar esses impactos e, a partir do painel de especialistas, será possível classificar nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas. A Figura 3.9 mostra a relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa utilizados para relacioná-los.

Figura 3.9 - Relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa



Fonte: Proposta pela autora.

Para realizar esse esforço de sistematização, foi realizada anteriormente uma revisão sistemática da literatura (RSL) para derivar os impactos da adoção da MA nas empresas. No entanto, o conjunto original de impactos precisa ser categorizado e agrupado por meio de uma abordagem mais empírica, à luz de uma perspectiva acadêmica externa trazida por especialistas, para que possa ser considerada robusta o suficiente para funcionar como princípios orientadores geralmente aplicáveis.

Esta subseção mostra, assim, o processo de categorização e agrupamento dos impactos da adoção da MA nos blocos de construção do modelo de negócio (MN) Canvas, resultando em um conjunto de impactos cuidadosamente examinados. Para isso, utilizou-se o conceito de Modelo de Negócio Canvas como base, proposto por Osterwalder, Pigneur e Tucci (2005), em que considera-se quatro pilares e nove blocos de construção: produto – proposta de valor; interface do cliente - segmento dos clientes, canal de distribuição e relacionamento; gestão de infraestrutura - atividades-chave, recursos-chave e parceiros estratégicos; e aspectos financeiros - estrutura de custos e modelo de receita. O modelo de negócio engloba a visão baseada em recursos (*resource based view* - RBV), que destaca a natureza complementar do ponto de vista baseado na

causalidade (PORTER, 2001). É consistente com a teoria *RBV*, em que a empresa é vista como um conjunto de recursos e capacidades (BARNEY; WRIGHT; KETCHEN, 2001).

Para alcançar robustez suficiente, a categorização e o agrupamento foram realizados através de um processo de entrevista estruturado aplicado a um grupo de especialistas acadêmicos em MN Canvas, inovação, MA e gestão de operações. O resultado é um modelo refinado que aborda os impactos da adoção da MA nos blocos de construção do MN Canvas de maneira que possa ser aplicável a diferentes situações.

O modelo refinado também tenta alcançar uma linguagem autoexplicativa e um equilíbrio adequado entre abrangência e especificidade em cada um dos impactos da adoção da MA, que são expressos no formato de expressões e abrangem todos os impactos identificados na RSL. Este trabalho pode ajudar pesquisadores, profissionais e organizações interessados em gerenciar a implementação, planejamento de operações e questões de gerenciamento de desempenho da MA. Pode ser útil não apenas para aqueles envolvidos com a implementação da tecnologia, mas, em um sentido amplo, para aqueles preocupados com a relação entre a MA e as operações diárias de uma empresa que está formatada em um modelo de negócio.

O desenho desta pesquisa incluiu a participação de especialistas para categorizar e agrupar os impactos da adoção da MA nos blocos de construção do MN Canvas, por meio de uma perspectiva empírica. Dois requisitos de pesquisa foram definidos para gerar um significado e conjunto de diretrizes: (i) uma seleção adequada de especialistas experientes; (ii) um procedimento sistemático para coletar, analisar e sintetizar os dados das entrevistas.

O estudo consistiu em uma rodada de refinamento com especialistas, todas conduzidas por um entrevistador/pesquisador, através de entrevistas individuais com oito especialistas. As entrevistas foram realizadas a partir de questionário estruturado, baseadas em uma estratégia de refinamento individual. Os especialistas participantes e um resumo dos seus tempos de experiência e áreas de atuação são apresentadas no Quadro 3.4.

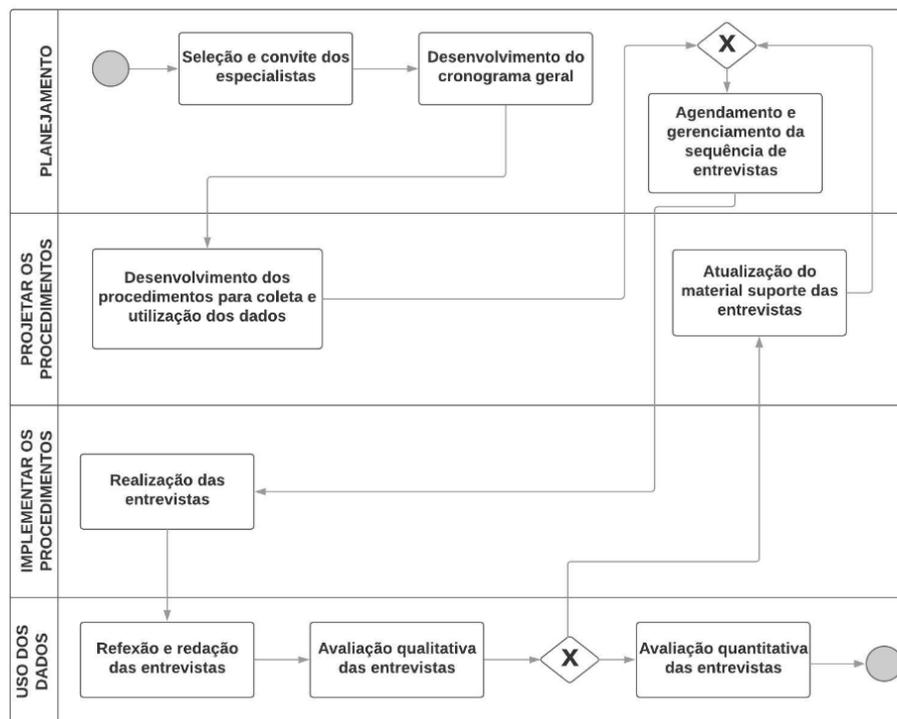
Quadro 3.4 - Resumo do perfil dos especialistas participantes do estudo

Perfil dos especialistas participantes da pesquisa			
Especialista	Tempo de atuação (anos)	Área de atuação	Duração da entrevista (min)
E1	21	Gestão da produção	56
E2	17	Gestão da produção e MA	50
E3	25	Gestão da Produção e Modelo de negócio	41
E4	32	Inovação e Modelo de negócio	43
E5	20	Gestão da Produção, Modelo de negócio e MA	38
E6	31	MA	35
E7	19	Gestão da produção	49
E8	19	Gestão da produção e MA	23

Fonte: Dados da pesquisa.

A última etapa trabalhou como uma consolidação dos resultados obtidos nas etapas anteriores, e foi realizada através da realização de uma análise quantitativa simples, a fim de se chegar a um acordo sobre a versão final do modelo. Esta foi considerada uma abordagem adequada para consolidar a versão final dos impactos, visando o desenvolvimento de consenso. Também com o intuito de avaliar possíveis vieses dos entrevistados e evitá-los na versão final do modelo.

Dessa forma, adaptou-se o método utilizado por Silveira et al. (2013, 2017), a fim de estabelecer um procedimento sistemático para coletar, analisar e sintetizar os dados das entrevistas. Esta abordagem poderia ser resumida pela observância de quatro principais características: ponto de entrada, procedimentos, gerenciamento de projetos e participação. O ponto de entrada é caracterizado pela concordância dos especialistas em participar das entrevistas e pela contextualização da pesquisa em cada entrevista individualmente. O gerenciamento de projetos foi uma parte interna do esforço de pesquisa, no qual o pesquisador manteve um cronograma para fazer as entrevistas e as análises. O procedimento será explicado a seguir e está ilustrado na Figura 3.10. A participação pode ser considerada como o compromisso que cada especialista teve para responder a todas as perguntas de acordo com sua melhor capacidade. Sendo assim, a participação neste estudo se refere, então, às intervenções individuais.

Figura 3.10 – Fluxograma do processo de categorização e agrupamento dos impactos

Fonte: Adaptado de Silveira et al. (2013, 2017).

Primeiro, o planejamento geral do estudo envolveu a seleção de especialistas a serem convidados para o estudo. A seleção foi baseada principalmente na experiência dos especialistas, assim oito especialistas foram selecionados, sendo eles divididos entre as áreas de gestão de operações, inovação, MA e modelo de negócios. A sequência de entrevistas foi aleatória baseada na disponibilidade dos especialistas, que, ao mesmo tempo, foi particularmente importante devido ao processo de refinamento realizado. Realizou-se um cronograma geral relacionado com a disponibilidade dos convidados, dessa forma, foram necessárias quatro semanas para fazer todas as entrevistas separadamente com cada um deles.

O projeto dos procedimentos para a realização do estudo compreendeu o procedimento para realização das entrevistas e coleta de dados, bem como o procedimento para análise e síntese dos dados coletados. Nessa fase, foi elaborado o questionário de entrevista, os relatórios e todo o material de apoio. Após cada entrevista, o material de apoio foi atualizado de acordo com os refinamentos promovidos pelo entrevistado. A análise dos impactos da adoção da MA nos blocos de construção do MN Canvas foi o núcleo de todo o estudo. Primeiramente, foi explicado ao especialista a lógica subjacente da análise a ser realizada. Para cada impacto, o entrevistado foi solicitado a responder (sem resposta prévia), apenas pelas definições do Quadro 2.4,

qual dos blocos de construção do MN Canvas ele se encaixava. A resposta para essa pergunta iniciaria uma discussão que levaria ou não à categorização, já que foi incluído o item “outros”, caso o entrevistado não concordasse com o encaixe do impacto nos blocos. Assim, caso houvesse algum impacto não contemplado no MN, este deveria ser categorizado no campo “outros”. Além disso, cada impacto poderia ser categorizado em mais de um bloco do MN Canvas, conforme o raciocínio do entrevistado, e também poderiam ser dados pesos (1 – menor relação ou 2 – maior relação), caso fosse identificado uma relação maior em um bloco.

É importante ressaltar que, de forma incremental, todos os especialistas tiveram acesso à uma versão sem respostas iniciais, que foi importante para manter a integridade estrutural ao longo do processo. Dessa forma, a espinha dorsal do processo foi mantida ao longo das entrevistas. Para facilitar o desenvolvimento do procedimento de coleta e utilização dos dados, nas entrevistas foram usados cartolina e notas auto-adesivas removíveis para facilitar a visualização dos conceitos a serem trabalhados. Na cartolina, os blocos de construção do MN Canvas foram escritos e divididos conforme a Figura 2.2. Além disso, foi incluído um campo “Outros” para caso algum impacto não se encaixasse em nenhum bloco de construção, como explicado anteriormente. Cada impacto da adoção da MA identificado na literatura foi escrito em cada nota auto-adesiva, assim o especialista identificou o campo que cada impacto se encaixava melhor conforme a descrição do bloco de construção disponível no Quadro 2.4.

Caso o especialista indicasse mais de um bloco de construção para o mesmo impacto, todos eram registrados. Apenas alguns especialistas sugeriram um possível novo bloco (outros), não porque considerassem o modelo incompleto, mas como uma sugestão para enriquecer o modelo. Os resultados com os impactos e os respectivos blocos de construção estão apresentados no Apêndice C, verifica-se, por exemplo, que o especialista 1 indicou dois blocos de construção (recursos-chave - RC e atividades-chave - AC) para os impactos “Qualificação dos trabalhadores” e 29 “Quantidade de trabalhadores/trabalho”, e para o impacto “Risco do negócio” foi atribuído a categoria de “Outros”. Apenas os especialistas 2, 4 e 5 indicaram pesos para a categorização. Caso o especialista confirmasse a completude do modelo, a entrevista era finalizada.

Após cada entrevista, uma análise qualitativa do modelo com seus resultados foi realizada. Os dados coletados foram amplamente relatados em um documento padrão (cada entrevista resultou em um novo relatório no mesmo padrão), compreendendo informações coletadas nas três principais atividades do procedimento da entrevista. Em

relação à análise de impactos, o relatório incluiu: (i) a categorização e agrupamento dos impactos, conforme definido pelo especialista; (ii) informação sobre a análise e discussão realizada pelo especialista, ou seja, os critérios considerados para o refinamento; e (iii) uma reflexão crítica do pesquisador. Uma seção final do relatório foi uma reflexão crítica geral, bem como *insights* e reflexões sobre características estruturais e metodológicas. Este procedimento foi útil para aprofundar a análise qualitativa no estudo. Com o relatório da entrevista, uma avaliação qualitativa de cada uma pôde ser feita até a última entrevista ser realizada. Após, uma análise final foi feita com a participação de dois dos especialistas participantes.

Tendo decidido que o conjunto de refinamentos era conciso e suficientemente completo, o estudo poderia prosseguir para a segunda rodada. Foi feita, então, uma análise quantitativa simples para confirmar a versão final da categorização e agrupamento. No Quadro 3.5 estão resultados do painel de especialistas, assim apresenta um resumo dos impactos. Em alguns casos, a literatura apresenta direções diferentes (aumento ↑ ou redução ↓) em relação ao impacto. A posição das setas indica em quais pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas os especialistas encaixaram impacto, por exemplo, o impacto “Apoio à manufatura enxuta” tem direção de aumento ↑, já que a adoção da MA aumenta o apoio à manufatura enxuta e pertence ao pilar Gestão de infraestrutura no bloco de construção Atividades-chave e ao pilar Aspectos financeiros no bloco de construção Estrutura de custos. A quantidade de estudos empíricos relacionados a cada impacto também é mostrada, baseada nos resultados da RSL. Assim, os impactos da adoção da MA que tiveram nenhuma, menos (*, de 1 a 9 artigos) ou mais (**, igual ou superior a 10 artigos) evidência empírica também são apresentados.

Quadro 3.5 - Impactos da adoção da MA identificados nos artigos

Impactos da adoção da MA	Pilares e Blocos de construção do modelo de negócio Canvas								
	Produto	Gestão de infraestrutura			Interface com o cliente			Aspectos financeiros	
	PV	PC	AC	RC	SC	CD	RL	EC	FR
Apoio à manufatura enxuta			↑*					↑*	
Capacidade de customização em massa									
Ciclo de vida do produto			↓*						
Colaboração com o fornecedor		↑*							
Competitividade									
Complexidade da CS		↑							
Complexidade da produção			↓**						
Confiabilidade da empresa	↑*						↑*		
	↓*						↓*		
Controle da qualidade e Qualidade do produto	↑*		↑*						
	↓*		↓*						
Custos								↑**	
								↓**	
Democratização da produção	↑								↑
Dependência com o fornecedor		↑*							
		↓*							

Impactos da adoção da MA	Pilares e Blocos de construção do modelo de negócio Canvas								
	Produto	Gestão de infraestrutura			Interface com o cliente			Aspectos financeiros	
	PV	PC	AC	RC	SC	CD	RL	EC	FR
Descentralização da CS		↑*							
Digitalização do produto			↑*				↑*		
Flexibilidade da CS		↑*							
		↓*							
Flexibilidade da produção			↑*						
Fluxo de informação			↑*						
Eficiência da produção			↑**						
			↓*						
Eficiência de inventário			↑**					↑**	
			↓*					↓*	
Eficiência logística							↑*		↑*
Impacto ambiental	↑								
	↓**								
Integração dos departamentos			↑*						
Interação com o cliente/consumidor							↑*		
Liberdade de <i>design</i> do produto	↑**		↑**						
Peso do produto	↓*								
Qualificação do trabalhador			↑*	↑*					
			↓*	↓*					

Impactos da adoção da MA	Pilares e Blocos de construção do modelo de negócio Canvas								
	Produto	Gestão de infraestrutura			Interface com o cliente			Aspectos financeiros	
	PV	PC	AC	RC	SC	CD	RL	EC	FR
Quantidade trabalhadores/trabalho			↑*	↑*				↑*	
			↓*	↓*				↓*	
Responsividade	↑**								
	↓*								
Risco do negócio								↓*	
Saúde e segurança				↑*					
				↓*					
Servitização	↑*								↑*
Tamanho da peça	↓*								
Terceirização		↓*							
Valor do produto/serviço	↑*								
Variedade do produto	↑**								
Vendas						↑*			↑*
Viabilidade de formatos complexos das peças	↑**								

Legenda:

↑ Aumenta o impacto da MA

↓ Reduz o impacto da MA

Sem asterisco - Sem evidência empírica

* Menos evidência empírica

** Mais evidência empírica

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.4 Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas

Após a análise de conteúdo dos artigos, foram encontrados 37 impactos da adoção da MA. O Quadro 3.3 apresenta um resumo desses impactos, mostrando os artigos que mencionaram cada um deles. Em alguns casos, a literatura apresenta direções diferentes (aumento ↑, redução ↓ ou igual =) em relação ao impacto. Deve-se notar que os autores podem ter apenas mencionado o impacto para que ele seja considerado na pesquisa. A quantidade de estudos empíricos relacionados a cada impacto e sua direção também são mostrados no Quadro 3.3. Assim, os impactos da adoção da MA que não tiveram nenhuma, menos (*, de 1 a 9 artigos) ou mais (**, igual ou superior a 10 artigos) evidência empírica também são mostrados. Os resultados do painel de especialistas apontaram a relação entre os 37 constructos e os pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas. Portanto, pode-se ver o impacto indireto da MA em cada pilar e bloco de construção. Por exemplo, os artigos [40,44,91,130] (totalizando 4) (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; HOLMSTRÖM et al., 2010; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; WAGNER; WALTON, 2016) mostram que a adoção da MA aumenta a Colaboração com o fornecedor, e os artigos [40,91,130] (totalizando 3) (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; WAGNER; WALTON, 2016) apresentam evidências empíricas desse impacto. Esse impacto foi classificado no pilar Gestão da infraestrutura, mais especificamente no bloco de construção Parceiros-chave (PC) do modelo de negócio Canvas.

O Quadro 3.6 traz um resumo dos impactos que foram pouco (menos de 20 artigos) e mais citados (20 ou mais) na literatura podem ser vistos. Além disso, há também os impactos que não tiveram nenhum, poucas (de 1 a 9 artigos) ou mais evidências empíricas (10 ou mais artigos). Os campos mais escuros (em cinza) trazem as principais lacunas da literatura, as quais requerem mais estudos. A seguir, cada impacto da adoção da MA nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas é discutido.

Quadro 3.6 - Gaps na literatura dos impactos da adoção da MA

Blocos de construção do MN Canvas	Total de artigos		Total de artigos empíricos		
	Menos artigos	Mais artigos	Nenhuma evidência empírica	Menos evidência empírica	Mais evidência empírica
PV		↑ Viabilidade de formato complexo			↑ Viabilidade de formato complexo
PV/AC		↑ Liberdade de <i>design</i> do produto			↑ Liberdade de <i>design</i> do produto
PV		↑ Capacidade de customização em massa			↑ Capacidade de customização em massa
PV	↓ Qualidade do produto	↑ Qualidade do produto		↑↓ Qualidade do produto	
PV		↑ Variedade do produto			↑ Variedade do produto
PV	↓ Responsividade	↑ Responsividade		↓ Responsividade	↑ Responsividade
PV	↑ Impacto ambiental	↓ Impacto ambiental	↑ Impacto ambiental		↓ Impacto ambiental
PV		↓ Peso produto		↓ Peso produto	
VP/RS	↑ Democratização da produção		↑ Democratização da produção		
PV	↑ Valor do produto/serviço			↑ Valor do produto/serviço	
PV/FR	↑ Servitização			↑ Servitização	
PV/AC	↓ Ciclo de vida do produto			↓ Ciclo de vida do produto	
PV	↓ Tamanho do produto			↓ Tamanho do produto	
PV	↑↓ Competitividade			↑↓ Competitividade	
PV/RL	↑↓ Confiabilidade			↑↓ Confiabilidade	
PC		↑ Descentralização da CS		↑ Descentralização da CS	
PC	↑ Complexidade da CS	↓ Complexidade da CS	↑ Complexidade da CS	↓ Complexidade da CS	
PC	↑ Colaboração com o fornecedor			↑ Colaboração com o fornecedor	
PC	↓ Terceirização			↓ Terceirização	
PC	↑↓ Dependência com o fornecedor			↑↓ Dependência com o fornecedor	
PC	↑↓ Flexibilidade da CS			↑↓ Flexibilidade da CS	
AC/EC	↓ Eficiência de inventário	↑ Eficiência de inventário	↓ Eficiência de inventário	↓ Eficiência de produção	↑ Eficiência de inventário
AC	↓ Eficiência de produção	↑ Eficiência de produção		↑ Flexibilidade de produção	↑ Eficiência de produção
AC		↑ Flexibilidade de produção		↑↓ Controle da qualidade	
AC	↓ Controle da qualidade	↑ Controle da qualidade			↓ Complexidade da produção
AC		↓ Complexidade da produção		↑ Integração dos departamentos	
AC	↑ Integração dos departamentos				
AC	↑ Fluxo de informação		↑ Fluxo de informação		
AC/EC	↑ Apoio à manufatura enxuta			↑ Apoio à manufatura enxuta	
AC/RL	↑ Digitalização do produto			↑ Digitalização do produto	
AC/RC	↑↓ Qualificação do trabalhador			↑↓ Qualificação do trabalhador	
AC/RC/EC	↑↓ Quantidade de trabalhadores/trabalho			↑↓ Quantidade de trabalhadores/trabalho	
RC	↑↓ Saúde e segurança		↑ Saúde e segurança	↓ Saúde e segurança	
SC/FR	↑ Vendas			↑ Vendas	
CD/EC		↑ Eficiência logística		↑ Eficiência logística	
RL	↑ Interação com o cliente/consumidor			↑ Interação com o cliente/consumidor	
EC		↑↓ Custos			↑↓ Custos
EC	↓ Risco do negócio			↓ Risco do negócio	

Legenda: PV - Proposta de valor; RC - Recursos-chave; AC - Atividades-chave; SC - Segmentos de cliente; CD - Canal de distribuição; RL - Relacionamento; EC - Estrutura de custos; e FR - Fontes de receita.

Fonte: Dados da pesquisa.

3.3.4.1 Impactos da MA no Produto – Proposta de Valor

De acordo com Osterwalder et al. (2010) o pilar Produto do modelo de negócio Canvas é composto pelo bloco de construção Proposta de Valor (PV). Verificou-se que a adoção da MA apresenta 17 impactos principais neste bloco de construção. Cinco desses impactos apresentam direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). Também foi interessante notar que a adoção da MA pode produzir produtos com a mesma qualidade que os produtos produzidos na fabricação convencional. Isto foi citado em um empírico (VINODH et al., 2009) e cinco pesquisas conceituais (KOC; LEE, 2002; PORTOLÉS et al., 2016; RYAN; SCHWERDTFEGER; RODERMANN, 2016; SASSON; JOHNSON, 2016; ZELTMANN et al., 2016), em que nenhuma evidência é mostrada.

Analisando o número total de artigos e também o número de artigos empíricos, pode-se identificar alguns resultados interessantes. Podemos notar que alguns impactos são bem conhecidos na literatura, tanto no número total de artigos quanto em evidências empíricas. Este é o caso do impacto da adoção da MA no aumento da viabilidade de formatos complexos de peças, aumento da liberdade de *design* do produto, aumento da capacidade de customização em massa e aumento da variedade dos produtos. Por outro lado, outros impactos também são estudados, mas menos do que os mencionados anteriormente e, portanto, apresentam menos estudos empíricos. Este é o caso do impacto da adoção da MA no aumento do valor do produto/serviço, aumento da servitização, diminuição do ciclo de vida do produto e redução do tamanho do produto. Devido à diferença no número de estudos totais e empíricos, pode-se concluir que existem diferentes níveis de maturidade em relação à esses impactos na adoção da MA no modelo de negócio.

Também é interessante notar que há um intenso debate na literatura sobre alguns impactos. Este é o caso da competitividade, impacto ambiental, qualidade do produto, confiabilidade e responsividade. Mesmo nos estudos empíricos, o debate continua, com exceção do impacto ambiental que, embora apresente opiniões teóricas diferentes, a evidência empírica mostrou (DESPEISSE et al., 2017a; EYERS; POTTER, 2015; FLORES ITUARTE et al., 2016b; FORD; DESPEISSE, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; JIA et al., 2016; LIN; CHEN; CHIU, 2014; MONTES, 2016; NIAKI; NONINO, 2017; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; SHOUCHE et al., 2016) que a adoção da MA leva à redução do impacto ambiental. Assim, o impacto da adoção da

MA no impacto ambiental já está esclarecido na literatura.

Finalmente, outro impacto, também frequentemente mencionado na literatura, é a redução do peso do produto. O impacto da adoção da MA sobre o peso do produto tem poucas evidências empíricas. Mas é um importante campo de estudo, principalmente na indústria aeroespacial (NIAKI; NONINO, 2017; WAGNER; WALTON, 2016). Além disso, o impacto da adoção da MA sobre o aumento da democratização da produção, apesar de haver alguns estudos teóricos mencionando esse impacto, ainda não teve estudos empíricos. Então, é um campo de estudo importante, mas ainda não explorado. À medida que a MA elimina a necessidade de compras globais, descentralizando a cadeia de suprimentos, abre caminho para a democratização de produtos e projetos colaborativos (MASHHADI; BEHDAD, 2017). Esta tendência de democratização é ainda mais acelerada pelo preço cada vez menor das impressoras 3D (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

3.3.4.2 Impactos da MA na Gestão de Infraestrutura

De acordo com Osterwalder et al. (2010) o pilar Gestão de Infraestrutura do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Parceiros-chave (PC), Atividades-chave (AC) e Recursos-chave (RC).

3.3.4.2.1 *Impactos da MA nos Parceiros-chave*

Verificou-se que a adoção da MA apresenta 6 impactos principais no bloco de construção parceiros-chave. 3 desses impactos apresentam direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). Por isso, é interessante notar que há um intenso debate na literatura sobre certos impactos. Este é o caso de dependência com o fornecedor, complexidade da cadeia de suprimentos (SC) e flexibilidade da SC. Mesmo nos estudos empíricos, o debate continua, exceto pela complexidade do CS que, apesar de apresentar diferentes opiniões teóricas, a evidência empírica (DESPEISSE et al., 2017a; EYERS; POTTER, 2015; FLORES ITUARTE et al., 2016b; FORD; DESPEISSE, 2016; KHAJAVI et al., 2018a; MONTES, 2016; WAGNER; WALTON, 2016) mostrou que a adoção da MA leva à redução da complexidade da CS. Assim, o impacto da adoção da MA na

complexidade da CS já está esclarecido na literatura.

Em geral, existem poucos estudos conceituais e empíricos sobre os impactos da adoção da MA neste bloco de construção. Analisando o número total de artigos e o número de artigos empíricos, podemos identificar alguns resultados interessantes. Apesar da existência de tais pesquisas teóricas e empíricas sobre o aumento da colaboração com o fornecedor (3 empíricos e 1 conceitual) e diminuição da terceirização (1 empírico e 1 conceitual), ao analisar o número de artigos que lida com tais impactos, em comparação com outros impactos na adoção da MA (como capacidade de customização em massa, 10 empíricos e 21 conceituais), pode-se notar que esse número é relativamente baixo. Portanto, mais pesquisas visando investigar os benefícios e a razão para tal impacto são necessárias.

Por fim, pode-se notar que outro impacto da adoção da MA também muito mencionado na literatura é o aumento da descentralização da CS (41 artigos teóricos). No entanto, este impacto não tem mostrado muitas pesquisas empíricas (7 artigos). Mesmo assim, este é um campo de estudo importante, uma vez que a MA reverterá as tendências para a centralização organizacional, o que levará à descentralização e à localização. (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; JIANG; KLEER; PILLER, 2017). Essa tecnologia pode reduzir potencialmente a necessidade de logística, pois os projetos podem ser transferidos digitalmente, levando à descentralização da produção (ATTARAN, 2017). Mudar as atividades de produção dos fabricantes para os consumidores desafia a natureza centralizada dos sistemas de produção e, portanto, requer uma descentralização da CS (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). Ao dar mais um passo no sistema descentralizado de produção centrada no consumidor, o fabricante pode fornecer uma plataforma para impressão doméstica (às vezes chamada de abordagem “prosumer” = *producers + consumers*) (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; DE VERE, 2013; MINETOLA; EYERS, 2017; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). No caso do “prosumer”, a CS é ainda mais curta, porque a distribuição final não é necessária (MINETOLA; EYERS, 2017). As atividades produtivas mudam do fabricante para o consumidor, o que leva à necessidade de descentralizar e desacoplar a organização da CS do fabricante para assumir o papel central do consumidor individual no processo de criação e captura de valor. Os autores citam a abordagem “Glocalizada” (“*Glocalized*”), em que os produtos são fabricados localmente, mas seu *design* pode ser de qualquer outro lugar. Assim, envolve o conceito de produção localizada e descentralização da CS, enquanto ainda fornece valor ao fabricante (BOGERS;

HADAR; BILBERG, 2016; GARRETT, 2014; JIANG; KLEER; PILLER, 2017).

3.3.4.2.2 *Impactos da MA nas Atividades-chave*

Verificou-se que a adoção da MA apresenta 18 impactos principais no bloco de construção Atividades-chave. Cinco desses impactos apresentam direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). É interessante notar que há um intenso debate na literatura sobre esses impactos. Este é o caso da eficiência de estoque, eficiência de produção, controle de qualidade, qualificação do trabalhador e quantidade de trabalhadores/trabalho. Mesmo nos estudos empíricos, o debate continua, exceto pela eficiência do inventário que, apesar de apresentar diferentes opiniões teóricas, a evidência empírica mostrou que a adoção da MA leva ao aumento da eficiência do estoque (FLORES ITUARTE et al., 2016b; FORD; DESPEISSE, 2016; MEISEL et al., 2016; NIAKI; NONINO, 2017; RYLANDS et al., 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016). Assim, o impacto da adoção da MA na eficiência do inventário já está esclarecido na literatura.

Analisando o número total de artigos e o número de artigos empíricos, pode-se identificar alguns resultados interessantes. Pode-se notar que um impacto é bem conhecido na literatura tanto no número total de artigos quanto nas evidências empíricas. Este é o caso do impacto da adoção da MA na complexidade da produção. Por outro lado, outros impactos também foram estudados, mas menos do que o mencionado anteriormente e, portanto, apresentam menos estudos empíricos. Este é o caso do impacto da adoção da MA no aumento da integração de departamentos, aumento do apoio à manufatura enxuta e aumento da digitalização do produto. Devido à diferença no número de estudos totais e empíricos, pode-se concluir que existem diferentes níveis de maturidade em relação à esses impactos na adoção da MA no modelo de negócio.

Outro impacto da adoção da MA também mencionado com frequência na literatura é o aumento da flexibilidade da produção. No entanto, este impacto não é mostrado em pesquisas empíricas; sendo assim, é um importante campo de estudo. A flexibilidade da produção desempenha um papel significativo na produção de peças altamente personalizadas e complexas de forma flexível e econômica (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; PENG et al., 2018). Com a MA, a liberdade das ferramentas, bem como a capacidade de fabricar produtos sem ter moldes, é um aspecto

crítico da MA para produzir diferentes produtos em uma única máquina. Essa flexibilidade é reforçada pela capacidade de produzir produtos diferentes em uma única execução (POUR et al., 2016). Qualquer aprendizado específico da máquina de MA pode ser aplicado a uma ampla gama de produtos, enquanto na manufatura tradicional, o aprendizado é frequentemente muito específico do produto, já que as máquinas envolvidas são menos flexíveis (BEN-NER; SIEMSEN, 2017).

Finalmente, existem poucos estudos que citam o impacto da adoção da MA no aumento do fluxo de informação (GARRETT, 2014; MASHHADI; BEHDAD, 2017) e nenhuma evidência empírica. Com a MA, Garrett (GARRETT, 2014) relata que os projetos, e não os produtos, se movem pelo mundo, ou seja, os arquivos digitais são impressos em qualquer lugar por qualquer impressora que possa atender aos parâmetros do projeto. A MA possibilita a produção instantânea em escala global, transformando a distribuição de produtos, já que possui a representação de artefatos físicos em um arquivo digital. Assim, há um impacto no fluxo de informação dentro e fora das empresas.

É importante verificar que os impactos da adoção da MA na liberdade de *design* do produto e no ciclo de vida do produto, incluídos neste bloco de construção, também foram classificados na Proposta de valor, pelo painel de especialistas. Então, eles já tinham sido discutidos anteriormente.

3.3.4.2.3 *Impactos da MA nos Recursos-chave*

Verificou-se que a adoção da MA apresenta três impactos principais no bloco de construção Recursos-chave. Todos os impactos apresentam direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). É importante verificar que o impacto da adoção da MA na qualificação do trabalhador e na quantidade de trabalhadores/trabalho estão incluídos neste bloco de construção, mas também foram classificados nas atividades-chave, pelo painel de especialistas. Então, já haviam sido discutidos anteriormente.

Analisando o número total de artigos e também o número de artigos empíricos, pode-se identificar um resultado interessante. Pode-se notar que um impacto não é bem conhecido na literatura tanto no número total de artigos quanto em evidências empíricas. Este é o caso do impacto da adoção da MA na saúde e segurança. Existe um debate inicial na literatura sobre esse impacto (GARRETT, 2014) e apenas uma

evidência empírica foi encontrada (NIAKI; NONINO, 2017). Portanto, o impacto da adoção da MA na saúde e segurança não está esclarecido na literatura.

Mais estudos são recomendados neste bloco de construção do modelo de negócios Canvas, e principalmente relacionados à saúde e segurança dos trabalhadores. Niaki e Nonino (2017) identificaram que uma das desvantagens e desafios da MA, na perspectiva do processo, é o risco potencial à saúde causado por algumas matérias-primas. As observações revelaram potencial toxicidade dos materiais, com partículas perigosas que podem causar abrasões e irritações nos olhos. Contudo, para Garrett (2014) a MA pode reduzir ou eliminar o uso de produtos químicos tóxicos frequentemente usados em processos convencionais de fabricação.

3.3.4.3 Impactos da MA na Interface com o cliente

De acordo com Osterwalder et al. (2010) o pilar Interface com o cliente do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Segmentos de cliente, (SC), Canal de distribuição (CD) e Relacionamento (RL).

3.3.4.3.1 Impactos da MA nos Segmentos de cliente

Verificou-se que a adoção da MA apresenta um impacto principal no bloco de construção Segmentos de cliente: aumento das vendas. A adoção da MA pode aumentar as vendas da empresa e deve ser melhor investigada. A evidência empírica das vantagens da MA é a possibilidade de buscar uma estratégia de expansão de mercado, acessando novos segmentos de demanda cujos produtos ou serviços tenham que ser feitos sob medida. Desta forma, além de introduzir novos produtos, a MA leva a novos mercados (RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Como resultado, as ferramentas rápidas de produção a partir da MA podem afetar a entrega de valor da empresa, permitindo que ela atenda a segmentos de mercado mais direcionados. Além de ser usada para entrar em mercados existentes, a mesma estratégia pode ser usada para mercados inteiramente novos. Além disso, a MA permite atender qualquer nicho, não importa quão pequeno (WELLER; KLEER; PILLER, 2015). Um produtor equipado com MA é capaz de

atender todo o mercado, permitindo que as empresas atinjam vários segmentos de mercado (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015). Para as pequenas e médias empresas (PMEs) em particular, pertencer ao ecossistema da MA pode fornecer insumos para novos segmentos e mercados de clientes (NYAMEKYE et al., 2015).

Embora a existência de tais pesquisas teóricas (JIANG; KLEER; PILLER, 2017; NYAMEKYE et al., 2015; RAYNA; STRIUKOVA, 2016; SASSON; JOHNSON, 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015) e empíricas (HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; MONTES, 2016; NIAKI; NONINO, 2017), ao analisar o número de artigos que cita esse impacto (3 empíricos e 5 conceituais), comparado a outros impactos da adoção da MA (como capacidade de customização em massa, 10 empíricos e 21 conceituais), pode-se perceber que esse número é relativamente baixo. Portanto, mais pesquisas visando investigar as razões para tal impacto são necessárias.

3.3.4.3.2 Impactos da MA no Canal de Distribuição

Verificou-se que a adoção da MA apresenta um impacto principal no bloco de construção Canal de distribuição: aumenta a eficiência logística. Com a implementação da MA, há uma drástica redução nas operações logísticas (SASSON; JOHNSON, 2016), a distância cairá de milhares de quilômetros e logística complicada para a produção local/regional e logística de curta distância (ATTARAN, 2017). A tecnologia pode reduzir potencialmente a necessidade de logística, pois os projetos podem ser transferidos digitalmente, levando à descentralização da produção (LI et al., 2017). Os produtos não precisam mais ser transportados para distribuidores ou varejistas após serem produzidos pelos fabricantes. O impacto é uma redução na necessidade de armazenamento, transporte e embalagem (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017). No entanto, o transporte reduzido do local de produção de peças é limitado pela necessidade de transportar matérias-primas e para consolidar o processamento adicional - como a montagem - em locais centrais (SUN; ZHAO, 2017).

Embora pesquisas teóricas e empíricas existam (EMELOGU et al., 2016; EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016), ao analisar o número de artigos empíricos que lida com esse impacto (6 empíricos), comparado com outros impactos da adoção da MA (como a capacidade de customização em massa, 10

empíricos), pode-se notar que esse número é relativamente baixo. Portanto, mais pesquisas visando investigar as razões para tal impacto são necessárias.

3.3.4.3.3 *Impactos da MA no Relacionamento*

Verificou-se que a adoção da MA apresenta 3 impactos principais no bloco de construção Relacionamento. Um deles apresenta direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). Este é o caso da confiabilidade. É importante verificar que o impacto da adoção da MA na digitalização e confiabilidade do produto estão incluídos neste bloco de construção, mas eles também foram classificados nas Atividades-chave e Proposta de valor, respectivamente, pelo painel de especialistas. Então, eles já tinham sido discutidos anteriormente.

O impacto da adoção da MA na interação com o cliente/consumidor também foi classificado neste bloco de construção do modelo de negócios Canvas. Sun e Zhao (2017) afirmam que uma cadeia de suprimentos integrada da MA também terá um enorme impacto sobre como os produtos são distribuídos, promovidos em um ambiente de varejo e a interação dos consumidores com os serviços de personalização. Então a MA cria oportunidades para novos modelos de negócios inovadores com colaborações crescentes dentro do ecossistema de negócios da MA, por exemplo, interações diretas entre consumidores e produtores (DESPEISSE et al., 2017a). Há um relacionamento ainda mais forte com os clientes, pois os fabricantes precisam construir uma comunidade para co-criar seus produtos com seus clientes, trocar conhecimento em um nível mais alto e interagir com os clientes de seus clientes (MONTES, 2016). O fabricante pode oferecer soluções *on-line* para permitir a co-criação com os consumidores, movendo-se efetivamente para um modelo centrado no cliente. Nesse modelo, o fabricante pode criar uma plataforma para que os usuários possam customizar ou personalizar suas próprias peças e enviá-las sob demanda (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016). Os desafios relacionados à captura de valor, portanto, exigem mudanças no componente de comunicação, particularmente visando clientes que participam de práticas de co-criação e contribuição colaborativa (*crowdsourcing*) (RAYNA; STRIUKOVA, 2016).

Embora existam pesquisas teóricas e empíricas (EMELOGU et al., 2016; EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS,

2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016), ao analisar o número de artigos empíricos que lida com esse impacto (5 empíricos), comparado com outros impactos da adoção da MA (como a capacidade de customização em massa, 10 empíricos), pode-se notar que esse número é relativamente baixo. Portanto, mais pesquisas visando investigar as razões para tal impacto são necessárias.

3.3.4.4 Impactos da MA nos Aspectos Financeiros

De acordo com Osterwalder et al. (2010), o pilar Aspectos financeiros do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Estrutura de custos (EC) e Fontes de receita (FR).

3.3.4.4.1 Impactos da MA na Estrutura de Custos

Verificou-se que a adoção da MA apresenta 6 impactos principais no bloco de construção estrutura de custos. Três desses impactos apresentam direções diferentes (aumenta ↑ e reduz ↓). Este é o caso dos custos, eficiência de estoque e quantidade de trabalhadores/trabalho. O risco do negócio, apoio à manufatura enxuta e eficiência logística também são classificados neste bloco de construção. É importante verificar que o impacto da adoção da MA na eficiência do estoque, apoio à manufatura enxuta, eficiência logística e quantidade de trabalhadores/trabalho estão incluídos neste bloco de construção, mas também foram classificados no Canal de distribuição e Atividades-chave, no painel de especialistas. Então, eles já tinham sido discutidos anteriormente.

Analisando o número total de artigos e também o número de artigos empíricos, pode-se identificar um resultado interessante. Pode-se notar que um impacto é bem conhecido na literatura tanto no número total de artigos quanto em evidências empíricas. Este é o caso do impacto da adoção da MA nos custos. Percebe-se que há um intenso debate na literatura sobre esse impacto. Por outro lado, outros impactos também foram estudados, mas menos do que os mencionados anteriormente e, portanto, apresentam menos estudos empíricos. Este é o caso do impacto no risco do negócio. O impacto da adoção da MA no risco do negócio é uma lacuna na literatura. Alguns autores afirmam que a MA também leva à confiança dos gerentes para reduzir o risco de

lançar um novo produto. O uso prolongado da MA resultaria em riscos menores com o mesmo nível de custo (HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017). As práticas da MA também podem reduzir o consumo de material por meio de produção sob demanda, o que reduz o risco de produzir peças para estoque que nunca serão usadas (SIRICHAKWAL; CONNER, 2016); isso também é verdade para peças de reposição (NYAMEKYE et al., 2015). Com isso, a MA pode reduzir o *lead time*, o custo e significativamente os riscos do gerenciamento da cadeia de suprimentos (GHADGE et al., 2018). Assim, vários riscos da rede e de interrupções externas podem ser evitados com a adoção da tecnologia de MA (MUIR; HADDUD, 2018; STRANGE; ZUCHELLA, 2017).

Embora existam pesquisas teóricas e empíricas (CHAN et al., 2017; DESPEISSE et al., 2017a; KHAJAVI et al., 2018a; MUIR; HADDUD, 2018), ao analisar o número de artigos que citam esse impacto (4 empíricos e 13 conceituais) em comparação com outros impactos da adoção da MA (como capacidade de customização em massa, 10 empíricos e 21 conceituais), pode-se perceber que esse número é relativamente baixo. Portanto, mais pesquisas com o objetivo de investigar os benefícios, bem como a razão para tais impactos são necessárias.

3.3.4.4.2 *Impactos da MA na Fontes de Receita*

Verificou-se que a adoção da MA apresenta 3 impactos principais no bloco de construção Fonte de receitas. Eles são democratização de produção, servitização e vendas. Todos esses impactos apresentam as mesmas direções (aumento ↑). É importante verificar que os impactos da adoção da MA na democratização da produção, servitização e vendas estão incluídos neste bloco de construção, mas eles também foram classificados nos Segmentos de Cliente e Proposta de valor, pelo painel de especialistas. Então, eles já tinham sido discutidos anteriormente.

Analisando o número total de artigos e também o número de artigos empíricos, pode-se identificar alguns resultados interessantes. Pode-se notar que todos esses impactos são menos conhecidos na literatura, tanto no número total de artigos quanto em evidências empíricas. A democratização da produção ainda não apresentou evidências empíricas. Assim, o impacto da adoção da MA no bloco de construção Fonte de receita ainda não foi esclarecido na literatura.

Como resultado, foi gerada uma estrutura de referência com todos os impactos da adoção da MA em pilares e blocos de construção do modelo de negócios Canvas, como mostra a Figura 3.11. Os pilares do modelo de negócio do Canvas, juntamente com os seus blocos de construção, são substancialmente inter-relacionados e interdependentes (AL-DEBEI; AVISON, 2010). Portanto, a partir dos resultados da RSL e do painel de especialistas, os impactos da adoção da MA que foram classificados em mais de um bloco de construção estão listados naqueles com maior frequência (sublinhados e em negrito). Além disso, as diferentes direções (aumenta ↑ ou reduz ↓) são mostradas e aquelas que apresentam nenhuma, menos (*) ou mais (**) evidências empíricas também são destacadas com asteriscos, conforme observação na Figura 3.11. As evidências empíricas estão relacionadas aos artigos que estudaram os impactos da MA através de dados empíricos na prática.

A próxima subseção traz as motivações e limitações encontradas nos artigos estudados.

Figura 3.11 – Impactos da adoção da MA categorizados nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas

Gestão da infraestrutura		Produto	Interface com o cliente	
<p>Parceiros-chave</p> <p>↑* Colaboração com o fornecedor ↑*/ ↓* Dependência com o fornecedor ↑ / ↓* Complexidade da CS ↑* Descentralização da CS ↑*/ ↓* Flexibilidade da CS ↓* Terceirização</p>	<p>Atividades-chave</p> <p>↑* Integração dos departamentos ↑** <u>Liberdade de design do produto</u> ↑ Fluxo de informação ↑**/ ↓ <u>Eficiência de inventário</u> ↑* <u>Apoio à manufatura enxuta</u> ↑* <u>Digitalização do produto</u> ↓* <u>Ciclo de vida do produto</u> ↓** Complexidade da produção ↑** Eficiência da produção ↑* Flexibilidade da produção ↑*/ ↓* Controle da qualidade ↑*/ ↓* <u>Qualificação do trabalhador</u> ↑*/ ↓* <u>Quantidade de trabalhadores/trabalho</u></p> <p>Recursos-chave</p> <p>↑*/ ↓ Saúde e segurança ↑*/ ↓* <u>Qualificação do trabalhador</u> ↑*/ ↓* <u>Quantidade de trabalhadores/trabalho</u></p>	<p>Proposta de valor</p> <p>↑*/ ↓* Competitividade ↑*/ ↓** Impacto ambiental ↑** Viabilidade de formatos complexos das peças ↑** <u>Liberdade de design do produto</u> ↑** Capacidade de customização em massa ↓* <u>Ciclo de vida do produto</u> ↑*/ ↓* Qualidade do produto ↓* Tamanho do produto ↑* Valor do produto ↑** Variedade dos produtos ↓* Peso do produto ↑ <u>Democratização da produção</u> ↑*/ ↓* <u>Confianabilidade</u> ↑**/ ↓* Responsividade ↑* <u>Servitização</u></p>	<p>Relacionamento</p> <p>↑* Interação com o cliente /consumidor ↑* <u>Digitalização do produto</u> ↑*/ ↓* <u>Confianabilidade</u></p> <p>Canal de distribuição</p> <p>↑* <u>Eficiência logística</u></p>	<p>Segmento de clientes</p> <p>↑* <u>Vendas</u></p>
Aspectos financeiros				
<p>Estrutura de custos</p> <p>↓* Risco do negócio ↑**/ ↓** Custos ↑**/ ↓ <u>Eficiência de inventário</u> ↑* <u>Apoio à manufatura enxuta</u> ↑* <u>Eficiência logística</u> ↑*/ ↓* <u>Quantidade de trabalhadores/trabalho</u></p>		<p>Fontes de receita</p> <p>↑ <u>Democratização da produção</u> ↑* <u>Servitização</u> ↑* <u>Vendas</u></p>		

Legenda:

↑ Aumenta o impacto da MA

↓ Reduz o impacto da MA

Sem asterisco - Sem evidência empírica

* Menos evidência empírica

** Mais evidência empírica

Sublinhado e **negrito**: Impactos da adoção da MA classificados em mais de um bloco de construção do modelo de negócio Canvas

Fonte: Proposta pela autora.

3.3.5 Motivações e Limitações da Adoção da MA

As empresas e consumidores são impulsionados por motivações que os levam a adotar novas tecnologias. Na RSL realizada, poucos estudos realizaram a avaliação dessas motivações para a adoção da MA profundamente (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017) e muitos outros apenas citam possíveis proposições sobre o tema. Os autores Laplume, Petersen e Pearce (2016) teorizam que várias dimensões, incluindo os tipos de materiais, a necessidade de customização, entrega rápida e baixo custo (para impressão de objetos complexos), podem ser os motivadores da adoção dessa tecnologia.

A pesquisa de Schniederjans (2017) aprofundou o tema dos motivadores para a adoção da MA, a qual baseou-se na Teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*). As motivações consideradas pela teoria *DOI* foram: Vantagem relativa, Compatibilidade, Complexidade, Observabilidade/Visibilidade e Teste; e as declaradas a partir da teoria *UTAUT* foram: Expectativa de desempenho, Expectativa de esforço, Condições facilitadoras e Influência social. Através de uma pesquisa de levantamento (*survey*), a autora identificou que segundo a percepção da alta gerência, a Vantagem relativa, a Compatibilidade, as Condições facilitadoras e a Expectativa de desempenho estão positivamente associadas à intenção de adotar a MA na fabricação. Assim, as motivações para a implantação da MA podem ser a crença nos seus impactos positivos nos desempenhos e adaptação e/ou substituição simples dessa tecnologia aos processos já estabelecidos.

Baseado nesse estudo, as motivações para a adoção da MA identificadas na RSL foram, da mesma forma, categorizadas nas teorias *DOI* e *UTAUT* e estão apresentadas no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Motivações da adoção da Manufatura Aditiva

Categorias	Motivações	Artigos não empíricos	Artigos empíricos
Vantagem relativa e Expectativa de desempenho	<i>Improve product design, Improve prototyping product process, Inventory and logistic rationalization, Performance expectancy, Production decentralization, Relative advantage, Resource efficiency, Technology stability, New parts generations, New market opportunities, Reduce cost, Low demand, Machine speed, Low initial investment, High flexibility, Range of raw material</i>	[2,17,21,30,38,47,77,83,101,103,109,127,131]	[9,15,46,91,92,105,107,117,119,124,130]
Compatibilidade e Condições facilitadoras	<i>Compatibility, Facilitating conditions sufficient, Industry experience, Culture (open to new technologies)</i>	-	[46,92,105,107,130]
Complexidade e Expectativa de esforço	<i>Complexity reduction, Effort expectancy</i>	[30,47,83,103,109]	[15,34,92,107]
Observabilidade e Visibilidade	<i>Observability, Visibility</i>	-	[92,107]
Vontade de Testar	<i>Trialability(test)</i>	-	[92,107]
Influência social	<i>Social influence, Suppliers, Clients/Consumers, Environmental legislation, Educate the market in AM, Perceived outside support, External pressure, Competitive pressures</i>	[80]	[92,105,107,130]

Fonte: Dados da pesquisa.

A “vantagem relativa” refere-se à medida que um adotante vê a inovação como tendo vantagem sobre os métodos anteriores de realizar uma tarefa (SCHNIEDERJANS, 2017). E, semelhante à “vantagem relativa”, a “expectativa de desempenho”, é o grau que usar uma tecnologia trará benefícios (VENKATESH; THONG; XU, 2012). No entanto, a vantagem relativa refere-se aos benefícios de uma inovação sobre uma inovação já existente (SCHNIEDERJANS, 2017).

No contexto da MA, essas motivações estão relacionadas com os benefícios que a adoção dessa tecnologia pode trazer. Exemplos identificados na literatura são melhoria no *design* do produto (COOPER, 2016; EYERS; POTTER, 2015; MOHR; KHAN, 2015; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016), no processo de prototipagem (ROMERO-TORRES; VIERA, 2016) e a possibilidade de gerar novas peças (COOPER, 2016; MOHR; KHAN, 2015; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016), podendo atingir novos mercados (COOPER, 2016). A MA também possibilita a racionalização de inventário e logística (MOHR; KHAN, 2015; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015), e a descentralização da produção (EYERS; POTTER, 2015; GRESS; KALAFSKY, 2015; HOOVER; LEE, 2015; MOHR; KHAN, 2015; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; TUCK; HAGUE; BURNS, 2007). Além disso, a estabilidade das tecnologias de MA (WAGNER; WALTON, 2016), pode proporcionar maior rapidez das impressoras (SCOTT; HARRISON, 2015) e ampla variedade de materiais impressos (DE VERE, 2013; MASOOD, 2007), com baixos investimentos iniciais necessários (HOLZMANN et al., 2017a; ROGERS; BARICZ; PAWAR, 2017). Dessa forma, a MA aumenta a eficiência de recursos (MOHR; KHAN, 2015), aumenta a flexibilidade de produção (HOLZMANN et al., 2017a; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015) e reduz custos em baixa demanda (RYLANDS et al., 2016; SCOTT; HARRISON, 2015).

A “compatibilidade” é o grau que uma inovação é percebida como consistente com os valores existentes, necessidades e experiências passadas (ROGERS, 2003). Juntamente tem-se a “condição facilitadora”, que é definida como uma percepção de recursos e apoio disponível para realizar o comportamento (VENKATESH; THONG; XU, 2012). Muitas vezes confundida com “compatibilidade”, as “condições facilitadoras” referem-se a recursos e apoio disponíveis para ajudar a orientar o uso de uma inovação. Enquanto a compatibilidade se refere à consistência entre uma inovação

e o ambiente em que é usada. Na MA, essa motivação está ligada à experiência da empresa, inserida em uma indústria, em absorver novas tecnologias (HOLZMANN et al., 2017a; WAGNER; WALTON, 2016) e também à cultura da empresa de investir em novas tecnologias (RYLANDS et al., 2016).

A “complexidade” é definida como a percepção de que o uso de uma inovação é relativamente livre de esforço (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989). A “expectativa de esforço” é o grau de facilidade percebido associado ao uso da inovação. Essa variável é semelhante à complexidade na estrutura do *DOI* (SCHNIEDERJANS, 2017). Para a MA, alguns autores relatam que pode-se reduzir a complexidade dos processos, reduzindo o esforço necessário para a realização das atividades (CHIU; LIN, 2016; EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; HOOVER; LEE, 2015; MOHR; KHAN, 2015; OETTMEIER; HOFMANN, 2017; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

A “observabilidade/visibilidade” consiste na tangibilidade dos resultados de usar uma inovação e os indivíduos vendo a inovação como sendo visível no contexto atual da adoção (MOORE; BENBASAT, 1991). O grau em que os resultados de uma inovação são visíveis e comunicáveis para os outros (ROGERS, 2003). Dessa forma, a MA pode gerar valor aos clientes, por exemplo, pelo simples fato da empresa estar utilizando esta tecnologia inovadora. Assim, a empresa adota a MA com o interesse na imagem que pode resultar no mercado (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017).

O “Teste” é a medida que os adotantes percebem que têm a oportunidade de experimentar a inovação antes da adoção (MOORE; BENBASAT, 1991). Isso é, muitas vezes, importante em tecnologias que ainda são inovadoras e pouco se sabe sobre os resultados de sua adoção, como o caso da MA (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017). Nesta pesquisa esta categoria de motivação será denominada de “Vontade de testar”.

E, por fim, a “influência social” definida como a medida que os usuários percebem que outros *players* importantes (consumidores finais, fornecedores, outras partes interessadas) acreditam que devem usar a inovação (VENKATESH; THONG; XU, 2012). Essa motivação pode ser gerada por apoio ou pressão de agentes externos (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017), como fornecedores (WAGNER; WALTON, 2016), clientes/consumidores (MELLOR; HAO; ZHANG,

2014; RYLANDS et al., 2016; WAGNER; WALTON, 2016), concorrentes e legislações (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014).

A partir dos resultados, percebe-se que as motivações são pouco discutidas nos artigos estudados. A categoria “vantagem relativa e expectativa de desempenho” é a que apresentou mais pesquisas, mostrando que os adotantes da MA estão realmente interessados nos resultados que a adoção dessa tecnologia vai trazer de benefícios para as empresas. Estudos futuros podem aprofundar nessa categoria, com o intuito de investigar detalhadamente as motivações dentro desta categoria. As outras categorias de motivações podem, também, ser melhor exploradas, a fim de verificar se realmente não são vistas na adoção da MA ou se apenas foram negligenciadas nos estudos analisados.

Juntamente com os benefícios, as desvantagens devem ser consideradas para avaliar o mérito da adoção da MA na fabricação. Embora os benefícios ajudem a impulsionar a adoção, os custos e as desvantagens potenciais dificultam seu uso generalizado limitando, assim, a adoção (SCHNIEDERJANS, 2017). O

resume as limitações da adoção da MA detectadas na literatura e os autores que as citaram, nas mesmas categorias utilizadas nas motivações, porém considerando a falta das características pontuadas. Por exemplo, “vantagem relativa e expectativa de desempenho”, uma categoria da motivação, para a limitação passa a ser “falta de vantagem relativa e expectativa de desempenho”, e assim por diante.

As limitações para a adoção da MA identificadas na RSL foram, da mesma forma, categorizadas nas teorias *DOI* e *UTAUT* e estão apresentadas no Quadro 3.8.

Quadro 3.8 – Limitações da adoção da Manufatura Aditiva

Categorias Limitações	Limitações	Artigos não empíricos	Artigos empíricos
Falta de Vantagem relativa e Expectativa de desempenho	<i>Data handling security, Material quality, Reduce quality performance, Reduce quality control, Increase cost, Size, Part quality, Inicial investment cost, Workers health and security, Machine speed, Range of raw material, Preparation time, Time to design the product, High set up costs, Increase material costs, High printer cost, Just for low volume, No mass production, Product offering limited to technological feasibility, Printers obsolescence, Increase human toxicity/not sustainable, Post processing necessity, Lack of technology maturity</i>	[2,3,5,11,12,20,21,,36,39,47, 48,54,60,70,75,76,95,97,102, 103,106,109,110,115,118, 120,131,132,133]	[6,15,25,28,34,50,59, 69,78,80,88,89,105, 117,124,130]
Incompatibilidade e Falta de Condições facilitadoras	<i>Facilitating conditions not sufficient, Lack of experience, Workers knowledge, Lack of strategic alignment with technology, Lack of belief in technology, Lack of functional AM supply chain, Loyalty with traditional processes, Culture change, Lack of support from top management, Lack of information</i>	[2,17,20,21,24,36,53,60,101, 110,115,120,131,133]	[15,25,28,34,59,78,80, 88, 91,117,124,130]
Aumento da Complexidade e Expectativa de esforço	<i>Complexity increase, Effort expectancy increase</i>	[7,47]	[34,78,107,124,130]
Falta de Observabilidade e Visibilidade	-	-	-
Falta de Vontade de Teste	-	-	-
Falta de Influência social	<i>Legal and safety concerns(intellectual property rights), Lack of certification, Customer awareness, Lack of support from vendors</i>	[2,5,7,35,36,47,53,63,65,74, 83,95,98,99,101,114,131,133 ,138]	[11,24,25,28,80,84,89, 117,130]

Fonte: Dados da pesquisa.

A “falta de vantagem relativa e expectativa de desempenho” é a categoria das limitações ligadas aos resultados da adoção da MA em relação aos métodos tradicionais de fabricação. A MA pode, por exemplo, produzir peças com menor qualidade (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; CHEKUROV; SALMI, 2017; DE VERE, 2013; DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014; GU et al., 2001; HUANG et al., 2017; KARANIA; KAZMER; ROSER, 2004b; KIANIAN; TAVASSOLI; LARSSON, 2015; MATIAS; RAO, 2015; PORTOLÉS et al., 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; STRANGE; ZUCHELLA, 2017; STRONG et al., 2017, 2018; WAGNER; WALTON, 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015), por consequência da baixa qualidade da matéria-prima (CHIU; LIN, 2016; DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; FORD; DESPEISSE, 2016; GEBLER; UITERKAMP; VISSER, 2014; GU et al., 2001; HOOVER; LEE, 2015; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; ROMERO; VIEIRA, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016), o que pode aumentar a necessidade de controle da qualidade dos processos de fabricação (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; BHATTACHARJYA et al., 2014; ROMERO; VIEIRA, 2016; SISCA et al., 2016; STRONG et al., 2017; WAGNER; WALTON, 2016).

A velocidade de impressão das máquinas (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; LINDEMANN et al., 2013; MATIAS; RAO, 2015), o tempo de preparação para impressão, o tempo de *design* das peças (RYLANDS et al., 2016), a necessidade de pós-processamento (POUR et al., 2015), tornam a MA viável principalmente para produção de baixo volume, sendo não aplicável na produção em massa.

Os custos da adoção dessa nova tecnologia também são um limitante (ATTARAN, 2017; CHAN et al., 2017; CHIU; LIN, 2016; DE VERE, 2013; IVAN; YIN, 2017; NIAKI; NONINO, 2017; SCOTT; HARRISON, 2015; WIRTH; THIESSE, 2014), que pode estar relacionado ao alto custo de investimento inicial (HUANG et al., 2013; MURMURA; BRAVI, 2017; SHAH et al., 2017), oriundos do alto preço das impressoras e das matérias-primas (SASSON; JOHNSON, 2016). Além disso, a MA pode gerar um alto custo de *set up* (RYLANDS et al., 2016). Este alto custo da adoção da MA está vinculado à falta de maturidade da tecnologia, sendo que as impressoras podem se tornar rapidamente obsoletas (ROGERS; BARICZ; PAWAR, 2016), o que dificulta ainda mais a implementação da MA.

Outras limitações incluídas nesta categoria são: a saúde e segurança dos operadores das impressoras (HUANG et al., 2013; WOODSON, 2015), sendo que as

peças podem sair quente e pode haver emissão de gases tóxicos; a segurança no manuseio de dados é uma outra limitação para a adoção da MA (DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; JONKE et al., 2016; WAGNER; WALTON, 2016), já que os projetos dos produtos devem ser digitalizados e são transferidos facilmente; o tamanho das peças impressas, já que este está limitado ao tamanho da plataforma, quando as peças não podem ser seccionadas (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; STRANGE; ZUCHELLA, 2017; WIRTH; THIESSE, 2014); e a variedade de peças (WELLER; KLEER; PILLER, 2015), já que depende da variedade de materiais possíveis de serem impressos, o que ainda é bem restrito (DE LA TORRE; ESPINOSA; DOMÍNGUEZ, 2016; KIM, 2016; PORTOLÉS et al., 2016).

A categoria “incompatibilidade e falta de condições facilitadoras” refere-se a falta de experiência (CHIU; LIN, 2016), conhecimento (AHUJA; KARG; SCHMIDT, 2015; COOPER, 2016; KIANIAN; TAVASSOLI; LARSSON, 2015) e informação sobre a MA, o que leva a falta de crença na tecnologia (KIM, 2016; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Ademais, a MA pode ir de encontro ao alinhamento estratégico da empresa (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014), dessa forma não haverá suporte da alta gerência. A empresa pode não adotar a MA pela lealdade aos processos tradicionais de fabricação (KIM, 2016) e a inovação, muitas vezes, requer uma mudança de cultura.

O “aumento da complexidade e expectativa de esforço” é outra categoria de limitação, o qual está relacionado à falta de simplificação dos processos. Poucos autores indicaram essa limitação como sendo uma barreira para a implementação da MA nas empresa (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; FORD; DESPEISSE, 2016; HOOVER; LEE, 2015; MATIAS; RAO, 2015; SCHNIEDERJANS, 2017; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016).

A “Falta de Observabilidade e Visibilidade” e “Falta de Vontade de Testar” são outras categorias de limitação que foi considerada, mas que não foi citada em nenhum artigo. A primeira relaciona-se à imagem da empresa que utiliza a MA e a segunda o desejo de experimentar novas tecnologias. E a última categoria é a “Falta de Influência Social”, a qual indica a falta de ajuda/incentivo, de agentes externo à empresa, na adoção da tecnologia, os quais podem ser fornecedores e clientes. Além disso, preocupações legais e de segurança, relacionadas ao direito de propriedade intelectual (RATNAYAKE, 2018; SIRICHAKWAL; CONNER, 2016; ZELTMANN et al., 2016) e falta de certificações da tecnologia de MA (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER,

2017; KURMAN, 2014; NIAKI; NONINO, 2017) são amplamente discutidas na literatura e também encontram-se nesta categoria.

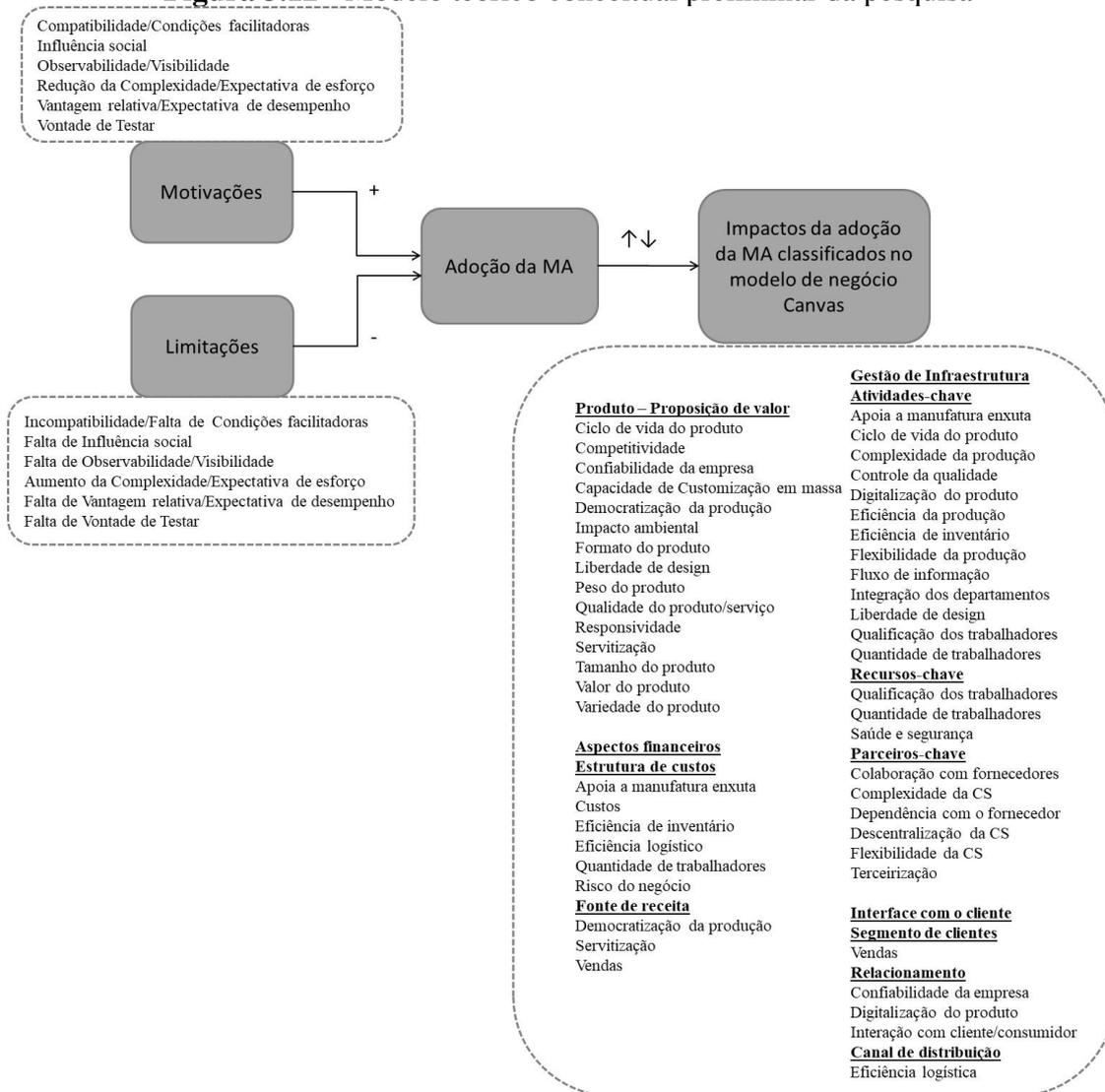
Com os resultados, percebe-se que as limitações foram mais exploradas na literatura que as motivações. Porém, ainda, são pouco discutidas a fundo nos artigos estudados. As categorias “falta de vantagem relativa e expectativa de desempenho” e “falta de influência social” são as que apresentaram mais pesquisas, mostrando que, ainda, os resultados da adoção da MA podem não ser vantajosos para as empresas. Além disso, questões relacionadas à propriedade intelectual, certificação e regulamentação da tecnologia ainda são limitantes da implementação. Inclusive clientes e fornecedores são, também, entraves que podem estar relacionados à falta de informação desses agentes. Estudos futuros podem aprofundar nessas categorias, com o intuito de investigar detalhadamente as limitações dentro delas. As outras categorias de limitações podem, também, serem melhor exploradas, a fim de verificar se realmente não são enfrentadas na adoção da MA ou se apenas foram negligenciadas nos estudos analisados.

3.4 CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS

O objetivo deste estudo foi explorar os impactos da adoção da MA no modelo de negócio Canvas, a fim de verificar o estado da arte. Portanto, seguem algumas conclusões e futuras linhas de pesquisa relacionadas às questões de pesquisa apresentadas nesta RSL. Este estudo pode servir como um guia para pesquisadores e gestores para desenvolver ainda mais a pesquisa e a prática da MA.

No presente trabalho, as características gerais dos estudos sobre MA e modelo de negócios (ano, fonte, abordagem e método de pesquisa, e indústrias), os elementos da MA (materiais e técnicas) e as características dos produtos advindos da MA foram explorados a partir de uma revisão sistemática da literatura. Os impactos da adoção da MA no modelo de negócio e as motivações e limitações também foram investigados. Na Figura 3.12 são ilustradas as categorias e relações causais que formam a estrutura modelo teórico conceitual preliminar, o qual captura a essência da pesquisa e foi desenvolvido a partir da RSL e do painel de especialistas. É apresentado uma visão geral das categorias dos constructos e seus relacionamentos.

Figura 3.12 - Modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa.

Após a RSL, foi possível concluir que estudos ainda são necessários em vários tópicos dos impactos da adoção da MA no modelo de negócios Canvas. Observando do ponto de vista dos impactos da MA, pode-se notar que alguns impactos são bem conhecidos na literatura. Este é o caso do impacto da adoção da MA no aumento da viabilidade de formatos complexos de peças, aumento da liberdade de *design* do produto, aumento da capacidade de customização em massa, aumento da variedade de produtos e redução da complexidade da produção. Por outro lado, outros impactos também foram estudados, mas menos do que os mencionados anteriormente e, portanto, apresentam menos estudos empíricos. Este é o caso do impactos da adoção da MA na redução do risco do negócio, aumento da colaboração com o fornecedor, aumento da interação com o cliente/consumidor, aumento da integração do departamento, aumento do apoio à manufatura enxuta, aumento do valor do produto/serviço, aumento da servitização, aumento da digitalização do produto, redução do ciclo de vida do produto, redução do tamanho do produto, redução da terceirização e aumento das vendas. Devido à diferença no número de estudos totais e empíricos, pode-se concluir que existem diferentes níveis de maturidade em relação a esses impactos da adoção da MA no modelo de negócio.

Também é interessante notar que há um intenso debate na literatura sobre alguns impactos. Esse é o caso da competitividade, custo, dependência com o fornecedor, impacto ambiental, saúde e segurança, eficiência de estoque, qualidade de produto, eficiência de produção, controle de qualidade, confiabilidade, responsividade, complexidade da CS, flexibilidade da CS, qualificação dos trabalhadores e quantidade de trabalhadores/trabalho. Mesmo indo para estudos empíricos, o debate continua, exceto pelo impacto ambiental, eficiência de estoque e complexidade de CS que, embora apresentem diferentes opiniões teóricas, a evidência empírica mostrou que a adoção da MA leva à redução do impacto ambiental, aumento da eficiência de estoque e redução de complexidade da CS. Assim, esses impactos no modelo de negócio já estão esclarecidos na literatura.

Finalmente, outros impactos, também frequentemente mencionados na literatura, são o aumento da eficiência logística, redução do peso do produto, aumento da flexibilidade de produção e aumento da descentralização da CS. Mas esses impactos ainda apresentam poucas evidências empíricas, comparados aos outros. Além disso, os impactos da adoção da MA no aumento do fluxo de informação e na democratização da

produção, apesar de alguns estudos mencionarem estes, ainda não tiveram estudos empíricos. Então, é um importante campo de estudo ainda não explorado.

Do ponto de vista do modelo de negócio Canvas, todos os pilares e blocos de construção (Produto - Proposta de valor; Gestão de infraestrutura - Recursos, Atividades e Parceiros-chave; Interface com o cliente - Segmentos de cliente, Canal de distribuição e Relacionamento; e Aspectos financeiros – Estrutura de custos e Fontes de receita) englobaram os impactos da adoção da MA. Ainda há debate sobre o impacto da adoção da MA nos quatro grandes pilares do modelo de negócio Canvas. Alguns blocos de construção apresentaram mais impactos da adoção da MA, como Atividades-chave e Proposta de valor. Outros tiveram menos impactos de adoção da MA, como Canal de distribuição e Segmentos de cliente. Assim, a MA pode ter menos impactos nesses blocos de construção ou a literatura trata poucos desses pontos.

Verificou-se que poucos estudos empíricos foram realizados (44 de 138, 32%). Como resultado, os Segmentos de clientes, Canal de distribuição, Parceiros-chave, Recursos-chave, Relacionamento e Fontes de receita ainda têm poucas evidências empíricas, portanto pesquisas futuras podem se concentrar nessas áreas.

Como este estudo é de natureza exploratória, há várias limitações dos resultados encontrados que não podem ser generalizados, mas devem ser vistos como descobertas iniciais que podem gerar ideias para futuras pesquisas. Embora haja pouca pesquisa sobre o assunto, os impactos da adoção da MA podem estar relacionados ao tipo de impressora e à aplicação da MA (por exemplo, prototipagem, ferramental ou produtos finais). Isso abre novos caminhos para pesquisas com um escopo ampliado. Além disso, correlacionar a informação com as percepções dos vários elos da cadeia de suprimentos poderia trazer resultados interessantes. Outra linha de pesquisa potencial poderia ser o estudo de impressoras 3D separadamente para fins comerciais e domésticos. Isso também ajudaria a aumentar ainda mais a compreensão da tecnologia de MA.

4 IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NO MODELO DE NEGÓCIO: UMA ABORDAGEM MULTI MÉTODO

Neste capítulo o estudo com abordagem multi método é detalhado. Na seção “Introdução” é apresentado um panorama geral do tema, justificativa, objetivo do estudo e as questões de pesquisa. Em seguida, os métodos de pesquisa do presente trabalho são descritos. Os dados extraídos são mostrados e analisados na seção “Resultados e Discussão” e, por fim, algumas “Conclusões e Futuras Pesquisas” são realizadas.

4.1 INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial (Indústria 4.0) afetará amplamente as empresas por meio da transformação da economia e da sociedade usando tecnologias como, inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, entre outras (CHUNG; KIM, 2016). Essas tecnologias já influenciam, além das atividades empresariais, a rotina das pessoas (LEE; KAO; YANG, 2014). Elas têm o potencial de aumentar a qualidade de vida das pessoas através de diferentes meios, tais como o aumento dos níveis globais de renda. Essas capacidades aliadas à competência de fabricar produtos personalizados em pequena escala estão entre as necessidades dos consumidores, as quais podem ser satisfeitas por meio da Indústria 4.0 (CHUNG; KIM, 2016).

A tecnologia de Manufatura Aditiva (MA ou impressão 3D) alavanca a inovação e está transformando a maneira como algumas empresas produzem e entregam produtos e serviços. As empresas estão começando a empregar a MA como uma ferramenta para alcançar objetivos, tais como: aumento da eficiência da cadeia de suprimentos; redução do tempo para o mercado; transformação da produção em massa para a customização em massa; e sustentabilidade do meio ambiente (FORD, 2014). Uma aplicação dessa tecnologia é em menores lotes de produção que englobam a fabricação de produtos para serem usados em testes no mercado, em que vários tipos de protótipos, com diferentes tamanhos, formas e cores, podem ser mais facilmente produzidos e testados (BERMAN, 2012).

A MA pode mudar todos os aspectos da estratégia de negócios da empresa, o *design* e desenvolvimento do produto, a fabricação, a montagem, o fornecimento e o serviço pós-venda. Pode permitir, com isso, que novos produtos e serviços sejam lançados no mercado mais rápido, com um custo baixo e com menos riscos. Dessa forma, as empresas têm de planejar a implementação da MA e comparar suas vantagens às tecnologias convencionais. Pode ser necessária, também, a reformulação da configuração das cadeias de suprimentos, selecionando materiais e desenvolvendo os funcionários (COZMEI; CALOIAN, 2012). Expandindo o escopo do sistema de produção para além das fronteiras da empresa, a MA irá, romper também os paradigmas dos processos de negócios ao longo da cadeia de suprimentos, tanto a jusante quanto a montante da empresa focal a ser considerada (MOHR; KHAN, 2015).

Nos próximos anos, pode-se razoavelmente prever um desenvolvimento significativo da cadeia de suprimentos da MA, não só consonante à perspectiva do *design*, mas como uma ruptura no modelo atual de produção (BERMAN, 2012). No entanto, em pesquisas científicas, especialmente em contextos industriais tecnológicos inovadores, essas tecnologias não são amplamente estudadas (LASI et al., 2014). Devido à importância desse campo de estudo e à falta de publicações, além de que a quarta revolução industrial requer investigações detalhadas de todos os aspectos das áreas relacionadas, incluindo MA, pesquisadores recomendam incidir sobre esse campo de estudo (CHUNG; KIM, 2016).

Contudo, a expansão e o crescimento da indústria de MA, nos últimos anos, resultaram em extensas publicações nesta área de pesquisa. O número de publicações sobre MA tem aumentado exponencialmente desde 2009, porém a maioria dos artigos publicados está se concentrando nas perspectivas de desenvolvimento com foco em engenharia e em técnicas da tecnologia. Pouca pesquisa tem apresentado uma visão geral das potenciais oportunidades e avaliação dos impactos do uso da MA sobre a sociedade em geral (LAU; LEUNG, 2015). Embora estudos recentes tenham identificado vários impactos potenciais da MA, ainda faltam estudos empíricos que avaliem a efetividade dessa tecnologia em diferentes ambientes e indústrias, estratégias de negócios, processos e modelos de negócios, em geral, como um fator de vantagem competitiva das empresas (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; LINDEMANN et al., 2013; MUITA; WESTERLUND; RAJALA, 2015; NIAKI; NONINO, 2017; PILKINGTON; FRANDSEN; REHNBERG, 2015; SISCA et al., 2016; WELLER; KLEER; PILLER, 2015).

Embora alguns estudos discutam as implicações da MA no surgimento de novos modelos de negócios (MN), eles carecem de evidências empíricas sólidas e estão focados em apenas um elemento do modelo de negócio, enquanto outros elementos são negligenciados, por exemplo Hämäläinen e Ojala (2015). Além disso, em geral, esses estudos não fornecem explicações sobre o como e o por que a MA impacta o modelo de negócio (MONTES, 2016). Nesse contexto, estudos teóricos (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; RAYNA; STRIUKOVA, 2016) e empíricos (MONTES, 2016) sobre as consequências da adoção da MA no MN das empresas ainda são poucos. Assim, esta pesquisa tem como objetivo explorar os impactos da adoção da MA no MN das empresas, além de suas motivações e limitações. O *framework* de MN utilizado como base é o Canvas, proposto por Osterwalder e Pigneur (2010), uma vez que este é considerado um modelo completo, por abordar de maneira detalhada o relacionamento de todos os componentes organizacionais internos e externos (BONAZZI; ZILBER, 2014).

Dessa forma, este estudo visa contribuir para refinar a teoria existente sobre a adoção da MA pelas empresas e as principais contribuições incluem uma análise empírica neste conhecimento. Assim, o objetivo da pesquisa foi explorar e avaliar os impactos, motivações e limitações da adoção da manufatura aditiva no modelo de negócio das empresas. Pretendeu-se responder a seguinte questão de pesquisa: Como a Manufatura Aditiva impacta o modelo de negócio das empresas?

Derivadas da questão central, foram elaboradas algumas questões específicas (QE) a serem investigadas:

QE1. Como os impactos da adoção da MA se relacionam com o modelo de negócio?

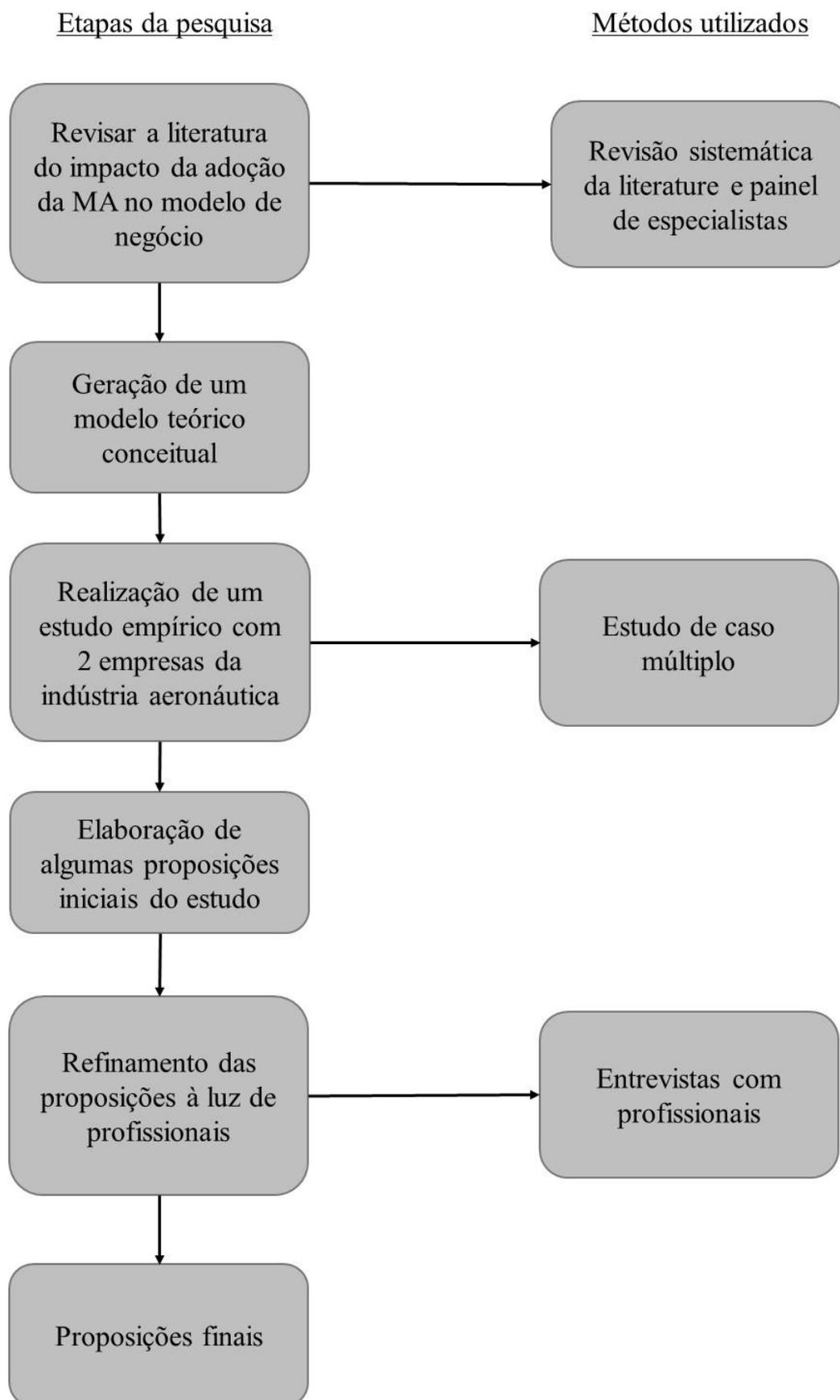
QE2. Como as empresas são motivadas e limitadas a adotar a MA?

As próximas seções estão estruturadas da seguinte forma. A seção 4.2 apresenta os métodos de pesquisa usados na condução da abordagem multi método. A apresentação e discussão dos resultados são fornecidas na seção 4.3. As considerações finais, limitações e futuras pesquisas são mostradas na seção 4.4.

4.2 MÉTODO DE PESQUISA

Esta seção apresenta os métodos de pesquisa utilizados, os quais conduziram o estudo a responder as questões de pesquisa propostas. Desse modo, conforme o contexto desse trabalho, os métodos de pesquisa utilizados foram: revisão sistemática da literatura, estudo de caso múltiplo e entrevistas com profissionais.

A Figura 4.1 ilustra os principais métodos utilizados na presente pesquisa, bem como os produtos finais da aplicação de cada de um deles. Essas etapas são apresentadas nas seções a seguir.

Figura 4.1 – Etapas e métodos de pesquisa utilizados

Fonte: Proposta pela autora.

4.2.1 Revisão Sistemática da Literatura e Painel de Especialistas

Para obter arcabouço teórico na realização do estudo de caso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL). Esta RSL teve como objetivo explorar os impactos da adoção da MA no modelo de negócio das empresas, além de suas motivações e limitações. A RSL foi baseada no procedimento proposto por Conforto et al. (2011) e Tranfield, Denyer e Smart (2003), em que foram utilizadas as seguintes etapas e fases mostradas no Quadro 4.1. Este quadro detalha como cada etapa foi realizada especificamente nesta pesquisa.

Quadro 4.1 – Resumo do procedimento da revisão sistemática da literatura

Étapas	Fases	Aplicação na Pesquisa
Planejamento da revisão	Identificação da necessidade da revisão	Leitura inicial de artigos (revisão ad hoc), identificação dos temas da pesquisa (MA e modelo de negócios) e definição das questões a serem respondidas a partir da RSL
	Preparação do propósito da revisão	
	Desenvolvimento do protocolo da revisão	
Condução da revisão	Identificação da pesquisa	Definição das palavras-chave
	Seleção dos estudos	Utilização das bases de dados, aplicação de filtros e leitura de títulos e resumos
	Avaliação da qualidade do estudo	Estudos sobre impactos da MA e modelo de negócio, e suas motivações e limitações
	Extração de dados e monitoramento do progresso	Análise de conteúdo e painel de especialistas para categorizar os impactos da MA nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas
	Síntese dos dados	
Relatórios e divulgação	Relatório e recomendações	Apresentação dos resultados encontrados e análise das categorias observadas

Fonte: Adaptado de Tranfield, Denyer e Smart (2003).

Foram obtidos 703 artigos e, assim, um novo filtro foi feito. Apenas artigos de congressos e periódicos na língua inglesa e portuguesa foram considerados. Além disso, quando a base de dados retornava muitos documentos, apenas os que estavam classificados nas áreas relacionadas a modelo de negócio foram incluídos. Por exemplo, na base de dados *Scopus* as áreas consideradas foram: *engineering, computer science, environmental science, social sciences, business, management and accounting, decision sciences, economics, econometrics and finance*. Com isso, esse filtro resultou em 472 artigos.

Em seguida, os títulos e resumos dos artigos foram verificados, a fim de identificar apenas os artigos que se encaixam no tema buscado (MA e modelo de negócio). Então, nessa fase de seleção foram aceitos 216 artigos. A leitura integral dos artigos foi realizada e, para extração dos dados, 138 foram considerados, em que,

novamente, aqueles que não discorriam a respeito do tema foram descartados. O Quadro 4.2 apresenta o protocolo do procedimento da RSL, com os principais dados das buscas efetuadas e a Figura 4.2 resume as principais etapas da RSL e traz a quantidade de artigos resultantes em cada uma delas.

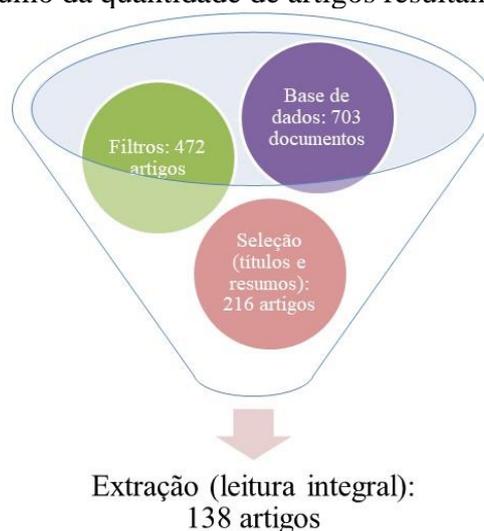
Quadro 4.2 – Protocolo do procedimento da RSL

Base de dados	EBSCO ¹ , Emerald insight ¹ , Engineering village, Proquest, Science direct, Scopus e Web of science
Data das buscas	23 de abril de 2018 e 02 de maio de 2018 ¹
Corte temporal	Não definido
Palavras-chave	PC1: "3dp*" OR "3d print" OR "additive fabricat*" OR "additive layer* fabricat*" OR "additive layer* manufactur*" OR "additive manufactur*" OR "free form fabricat*" OR "rapid fabricat*" OR "rapid manufactur*" OR "rapid prototyp*" OR "three dimensional print*" OR "tridimensional print*" PC2: "business model" OR "operation* management" OR "production* management" OR "supply chain" OR "value chain"
Operadores booleanos	PC1 AND PC2
Campos buscados	Títulos, resumos, palavras-chave, assunto ou tópico
Filtros aplicados	Artigos científicos de periódicos ou congressos na língua inglesa ou portuguesa
Áreas consideradas	Ambiental, computação, econometria, economia, energia, engenharia, finanças, gestão, negócios, operações, ciências sociais e transportes.
Dados para Seleção	Títulos e resumos
Dados para Extração	Leitura integral

¹EBSCO e Emerald insight: buscas realizadas até 02 de maio de 2018

Fonte: Proposto pela autora.

Figura 4.2 – Resumo da quantidade de artigos resultantes após cada etapa



Fonte: Proposta pela autora.

A RSL tem por finalidade detectar e organizar os conceitos relevantes dos artigos (ROWLEY; SLACK, 2004) e, com isso, foi possível sintetizá-los em categorias relacionados ao tema estudado. Essa categorização auxiliou a análise do conteúdo revisado, possibilitando identificar similaridades e diferenças entre os estudos. Os artigos foram classificados de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) Impactos da adoção da MA: pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas; e
- b) Motivações e limitações da adoção da M: Teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*).

A partir da RSL foi possível a aplicação do método painel de especialistas (SILVEIRA et al., 2013, 2017), o qual teve a finalidade de atingir o seguinte objetivo: Categorizar the impactos da adoção da MA nos blocos de construção do modelo de negócio (MN) Canvas. Dessa forma, com a RSL foi possível identificar esses impactos e, a partir do painel de especialistas, será possível classificá-los nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas. A Figura 4.3 mostra a relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa utilizados para relacioná-los.

Figura 4.3 - Relação entre os conceitos e os métodos de pesquisa



Fonte: Proposta pela autora.

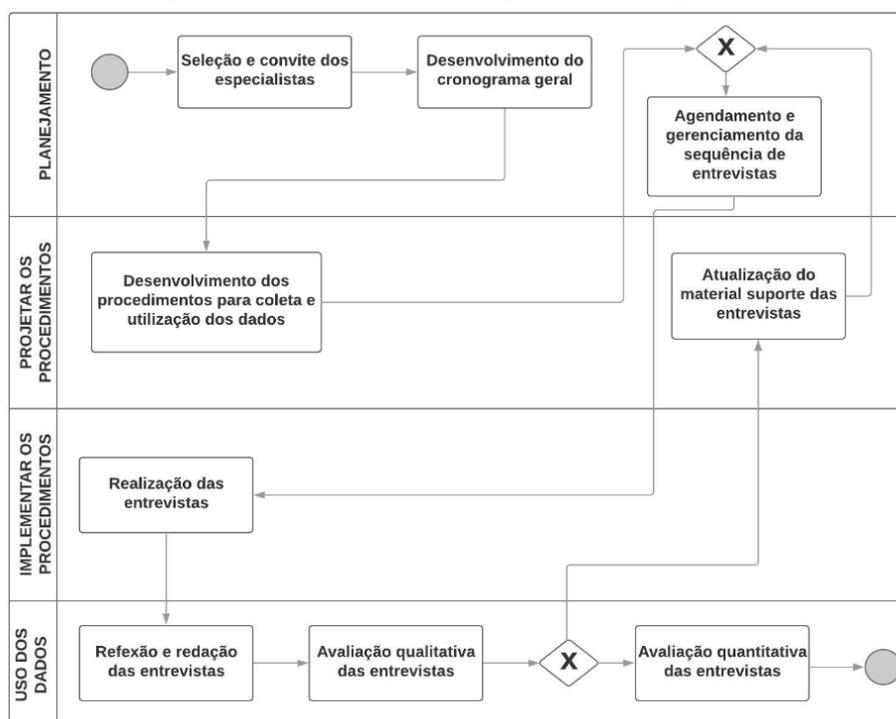
O desenho desta pesquisa incluiu a participação de especialistas para categorizar e agrupar os impactos da adoção da MA nos blocos de construção do MN Canvas, por meio de uma perspectiva empírica. O estudo consistiu em uma rodada de refinamento com especialistas, todas conduzidas por um entrevistador/pesquisador, através de entrevistas individuais com oito especialistas. As entrevistas foram realizadas a partir de questionário estruturado, baseadas em uma estratégia de refinamento individual. Os especialistas participantes e um resumo dos seus tempos de experiência e áreas de atuação são apresentadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Resumo do perfil dos especialistas participantes do estudo

Perfil dos especialistas participantes da pesquisa			
Especialista	Tempo de atuação (anos)	Área de atuação	Duração da entrevista (min)
E1	21	Gestão da produção	56
E2	17	Gestão da produção e MA	50
E3	25	Gestão da Produção e Modelo de negócio	41
E4	32	Inovação e Modelo de negócio	43
E5	20	Gestão da Produção, Modelo de negócio e MA	38
E6	31	MA	35
E7	19	Gestão da produção	49
E8	19	Gestão da produção e MA	23

Fonte: Dados da pesquisa.

Dessa forma, adaptou-se o método utilizado por Silveira et al. (2013, 2017), a fim de estabelecer um procedimento sistemático para coletar, analisar e sintetizar os dados das entrevistas. O procedimento está ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Fluxograma do processo de categorização e agrupamento dos impactos

Fonte: Adaptado de Silveira et al. (2013, 2017).

Como resultado, uma versão final dos impactos da adoção da MA foi gerada em um *framework* com os pilares e nos blocos de construção do MN Canvas.

A seguir o método de estudo de caso múltiplo é descrito.

4.2.2 Estudo de Casos Múltiplos

Dada a lacuna de pesquisa identificada, não está claro como a adoção da MA impacta o modelo de negócio das empresas. Para esta pesquisa, o método de estudo de caso múltiplo foi escolhido para a elaboração de um conjunto de proposições iniciais a serem escrutinadas por meio de entrevistas com profissionais. Este método, geralmente, é usado para estudos que almejam gerar teoria. Contudo, como é o caso desse estudo, existem pesquisas que utilizam também esse método para refinamento de teoria (ARASTI; KHALEGHI; NOORI, 2017; BRAAKSMA; KLINGENBERG; VELDMAN, 2013; MOLLENKOPF; FRANKEL; RUSSO, 2011; YAO et al., 2013). Baseado na abordagem de Yin (2014), os passos seguidos na condução do estudo de caso foram: (i) Definição das empresas do estudo, (ii) Coleta de dados e (iii) Análise de dados. Destaca-se que todos os procedimentos de pesquisa passaram pela aprovação de um Comitê de Ética, o comprovante encontra-se no Anexo A.

4.2.2.1 Seleção das Empresas para Condução do Estudo de Caso

Como o objetivo da pesquisa foi explorar e avaliar os impactos, motivações e as limitações da adoção da MA em uma situação cotidiana e comum (caso representativo), uma abordagem holística de estudo de caso múltiplo foi adotada (YIN, 2014). O objetivo principal foi obter *insights* sobre os impactos da adoção da MA no modelo de negócio, e suas motivações e limitações. As empresas selecionadas foram duas referências na indústria aeronáutica. Sabe-se que, pelo resultado da RSL, esse setor é um dos que mais adota a MA atualmente. Ademais, este setor foi recomendado por Schniederjans (2017) e Sisca et al. (2016) para pesquisas futuras, uma vez que tem maior difusão da MA. As empresas foram denominadas α e β , de maneira a assegurar sua confidencialidade, conforme estabelecido pelo Comitê de Ética, o qual a pesquisa foi submetida.

Os dados das empresas e dos entrevistados do estudo de caso múltiplo são mostrados no Quadro 4.4. Os dados foram coletados por meio de entrevistas

semiestruturadas para ter um grau de comparabilidade, garantindo um fluxo de narrações (BRYMAN, 2004). As duas empresas localizam-se na América Latina. As entrevistas e visitas foram realizadas ao longo de dois meses em 2019 e as entrevistas duraram de 63 a 96 minutos. Um pré-teste do Guia de entrevista semiestruturado foi realizado previamente na empresa β . Os informantes selecionados eram principalmente engenheiros e projetistas que trabalhavam diretamente com a tecnologia de MA nas empresas. A fim de facilitar a comunicação aberta com as empresas, o anonimato das fontes da empresa foi assegurado nos resultados do relatório.

As entrevistas foram realizadas de forma sequencial até um estado de saturação das informações, ou seja, em que pôde-se assegurar que nenhuma informação nova fosse coletada (GLASER; STRAUSS, 2017). Esse processo resultou em um total de quatro entrevistas. Além disso, em linha com a sugestão de King (2004), as entrevistas foram mantidas flexíveis e o protocolo de entrevista foi continuamente modificado para refletir os conceitos e temas que surgiram espontaneamente. Dessa forma, utilizou-se menos tempo em pontos que tinham pouca relevância para as questões de pesquisa.

Quadro 4.4 – Dados das empresas e dos entrevistados do estudo de casos múltiplos

Empresas do estudo de caso múltiplo	Empresa α		Empresa β		
Ano de início	1996		1969		
Quantidade de funcionários	2500		10000		
Setor/Indústria	Aeroespacial		Aeroespacial e defesa e segurança		
Produtos/Serviços	Manutenção de motores aeronáuticos		Aeronaves comerciais e executivas		
Clientes	Companhias aéreas		Companhias aéreas, empresas e consumidores finais		
Faturamento anual (US\$ 2018)	2.5 bilhões		5.1 bilhões		
Ano de adoção da MA	2015		2012		
Funcionários da MA	Funcionários das áreas de projetos e engenharia: projetistas, <i>designers</i> e engenheiros.		Funcionários das áreas de P&D, engenharia e produção: projetistas, engenheiros, técnicos e operadores.		
Materiais da MA	Polímeros: <i>ABS, ASA</i> , termoplástico polieterimida (PEI, ulthem 1010 e 9085), e nylon com fibra de carbono.		Polímeros: Resina epóxi, termoplástico polieterimida (PEI); e Metal: titânio.		
Impressoras da MA	<i>FDM</i>		<i>SLA, FDM e PBF</i>		
Produtos da MA	Componentes customizados, alta variedade, lotes únicos, pequenos ou grandes.		Componentes padronizados, alta variedade e lotes únicos ou pequenos.		
Aplicações da MA	Protótipos e equipamentos de produção (máscaras, gabaritos e ferramentais).		Protótipos, equipamentos de produção (gabaritos) e peças finais.		
Duração da entrevista	1h12min	1h16min	1h03min	1h36min	1h36min
Cargo do entrevistado	Engenheiro de manufatura	Projetista mecânico	Engenheiro de manufatura	Engenheiro de manufatura	Engenheiro de desenvolvimento de processo
Relação com a MA	Líder de MA	Projetista da MA	Responsável pelas iniciativas de desenvolvimento tecnológico relacionadas à MA.	Responsável pelas iniciativas de desenvolvimento tecnológico relacionadas à MA.	Responsável pela manufatura de termoplásticos (materiais compósitos).
Tempo na empresa	8 anos	5 anos	30 anos	31 anos	15 anos
Tempo no cargo	4 anos	4 anos	14 anos	15 anos	9 anos

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.2.2 Coleta de Dados

O protocolo de estudo de caso (Apêndice G) utilizado nesta pesquisa incluiu seções sobre a visão geral da pesquisa, objetivos, coleta de dados e análise. Ele detalha a preparação pré-visita, a coleta de dados no local e o estágio pós-visita. Descreve também o procedimento de entrevista e compreende o guia de entrevista. As questões norteadoras das entrevistas foram inspiradas nas descobertas da RSL (YIN, 2014). Inicialmente foram realizados pré-testes com dois profissionais do setor de MA e em uma das empresas do estudo de caso múltiplo (empresa β). Além disso, múltiplas reuniões com especialistas acadêmicos foram conduzidas a fim de refinar o guia de entrevista. A versão final encontra-se no Apêndice D. Contudo, durante a realização das entrevistas tentou-se focar nas questões que apresentaram pouca (um asterisco) ou nenhuma evidência empírica (sem asterisco) na literatura. Além também de investigar os outros pontos já verificados na literatura (dois asteriscos).

As perguntas se concentraram em como os entrevistados perceberam os impactos da adoção da MA no contexto das empresas, quais eram suas percepções sobre o impacto da tecnologia (tanto negativa quanto positiva) e quais eram as motivações e limitações dessa adoção. A entrevista iniciou com perguntas gerais centradas no profissional e na empresa, assim como nas atividades de MA realizadas. Então, a partir da RSL, questões técnicas específicas foram projetadas para estabelecer a) se os entrevistados têm entendimento suficiente da tecnologia em si e b) se eles tinham experiência para identificar os impactos da adoção da MA, assim como as motivações e limitações. As entrevistas da empresa α foram gravadas e transcritas, enquanto os entrevistados da empresa β não permitiram a gravação, então anotações foram feitas durante as entrevistas e, após isso, um texto foi redigido.

Além das entrevistas com os profissionais das empresas do estudo de caso, outras fontes de evidências também foram utilizadas para obter vários pontos de vista, como documentos secundários (reportagens de *websites*) e observações diretas durante as visitas nas empresas (STRAUSS; CORBIN, 1990).

4.2.2.3 Análise de Dados

Após a conclusão de cada estudo de caso, as gravações de voz das entrevistas foram transcritas em formato de texto. Os dados foram, então, importados para a ferramenta de análise qualitativa de dados QDA *miner* (versão 4). Na etapa de codificação aberta, as transcrições das entrevistas foram analisadas linha por linha, a fim de dividir os dados em partes discretas (ou seja, palavras, frases e parágrafos), em relação aos códigos já gerados na RSL (LOCKSTRÖM et al., 2010).

Baseado em Braun e Clarke (2013) e Caldera, Desha e Dawes (2019), uma combinação de abordagens de raciocínio indutivo e dedutivo foi empregada. A análise começou com um sistema de codificação dedutivo ou teórico usando o *software* QDA *miner* (versão 4), enquanto foram criados nós adicionais indutivamente a partir dos dados das entrevistas. Então, três códigos seletivos foram criados (impactos, motivações e limitações), classificando os dados em categorias e temas principais.

Uma análise de conteúdo foi realizada também nos dados secundários obtidos sobre a utilização da MA nas empresas dos estudos de casos, para triangular os dados. Para garantir o rigor deste método de pesquisa, as seguintes diretrizes foram incluídas, para melhorar a corroboração da credibilidade e a generalização dos resultados (CALDERA; DESHA; DAWES, 2019):

- i. Apresentar uma cadeia abrangente de evidências (WALSHAM, 1995): Para manter uma cadeia clara de evidências, cada passo do processo de pesquisa foi documentado. As gravações de áudio das entrevistas foram transcritas. Um guia de entrevista foi usado como mostrado no Apêndice D. Todas as etapas de codificação foram registradas com detalhes de cada nó junto com o arquivo QDA *miner* (GLASER; STRAUSS, 2017).
- ii. Considerar explicação alternativa, múltiplos pontos de vista, potenciais vieses (KLEIN; MYERS, 1999): Vários métodos de coleta e fontes de dados foram usados para obter vários pontos de vista. Os resultados das entrevistas foram comparados com os dados obtidos em outras fontes (STRAUSS; CORBIN, 1990).
- iii. Corroborar os resultados e saturação teórica (STRAUSS; CORBIN, 1990): As entrevistas foram realizadas até a saturação teórica. As lentes teóricas da visão baseada em recursos (*resource based view - RBV*) (BARNEY; WRIGHT; KETCHEN, 2001; PORTER, 2001) para os impactos da adoção da MA no modelo de negócio, e as Teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia

(*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*) (SCHNIEDERJANS, 2017) para as motivações e limitações, facilitaram a compreensão contextual e integrou um ponto de vista teórico.

iv. Visar a generalização para além da área sob investigação por uso da teoria: Conseguiu-se relacionar os resultados com a literatura sobre impactos da adoção da MA, e suas motivações e limitações (KLEIN; MYERS, 1999).

O procedimento de entrevistas com os profissionais (fornecedores e consultores) é detalhado a seguir.

4.2.3 Entrevistas com Profissionais

Entrevistas com profissionais do setor de MA foram incluídos como uma forma de validar as proposições do presente estudo. O uso de entrevistas com profissionais é uma técnica de coleta de dados eficaz, especialmente quando os pesquisadores estão explorando um campo novo, emergente ou pouco investigado (BOGNER; LITTIG; MENZ, 2009; LITTIG; PÖCHHACKER, 2014; YOUSUF, 2007). Os entrevistados foram profissionais, consultores e fornecedores em MA, que têm conhecimento suficiente da tecnologia e podem contextualizar sua adoção nas empresas. Esses são gerentes, proprietários e técnicos que trabalham diretamente com as empresas que querem adotar a tecnologia de MA. Assim, eles têm conhecimento e domínio profundo do processo de adoção da MA e entendimento suficiente das possíveis aplicações da tecnologia. Eles precisavam, então, ser capaz de entender os atributos tecnológicos da MA e contextualizar seu potencial uso nas empresas. Assim, os profissionais basearam suas respostas em experiências prévias com relação aos projetos práticos e a respeito da implementação da MA. Entrevistas semiestruturadas foram adotadas como a principal técnica de coleta de dados desse método.

Os profissionais de uma determinada área têm mais experiência e conhecimento sobre relações de causa e efeito e, portanto, provavelmente terão avaliações razoavelmente bem fundamentadas do estado da arte nos tópicos de interesse (DEW et al., 2009; KLEIN; MYERS, 1999; SCAPOLO; MILES, 2006). Os modelos mentais dos profissionais tendem a ser mais ricos em termos de variedade, diferenciação e cobertura mais abrangente dos fenômenos, seus comentários tendem a ser mais profundos, mais plausíveis e mais sensível ao contexto (KLEIN et al., 2007).

Elicitar os pontos de vista dos profissionais é um método popular no campo da previsão tecnológica (BOKRANTZ et al., 2017). Ademais, um grande número de trabalhos na área de gestão de operações utilizaram este método de pesquisa (CALDERA; DESHA; DAWES, 2019; SAUERWEIN et al., 2019; SHIMADA; VAN WASSENHOVE, 2019; WANG et al., 2019).

Para garantir a validade e confiabilidade dos resultados da pesquisa, utilizou-se o princípio orientador da seleção de especialistas da metodologia Delphi (ECKEN; GNATZY; VON DER GRACHT, 2011; HASSON; KEENEY, 2011; JIANG; KLEER; PILLER, 2017; KACHE; SEURING, 2017; KEMBRO; NÄSLUND; OLHAGER, 2017; REEFKE; SUNDARAM, 2017). Seguiu-se os três critérios propostos por Bokrantz et al. (2017) e von der Gracht e Darkow (2010) para a seleção de profissionais do setor: (1) cargo e responsabilidades dentro da empresa, (2) conhecimento e experiência dentro do campo e (3) disposição e tempo para participar. Todos os profissionais selecionados tinham pelo menos um ano de experiência na área de MA, sendo que a aplicação desta tecnologia é relativamente nova nas empresas. Todos tinham contato direto com os clientes, os quais buscavam adotar a MA. Profissionais que detinham diferentes responsabilidades em suas organizações foram escolhidos para que eles representassem uma variedade de pontos de vista.

Os potenciais candidatos à entrevista foram identificados e selecionados pela busca em rede social profissional. Assim, como apresentavam vínculo empregatício com as empresas de consultoria e fornecedora do setor de MA, pôde-se garantir a confiança na credibilidade das informações. Seguindo as diretrizes sobre amostragem e dados intencionais de saturação (FRANCIS et al., 2010; GLASER; STRAUSS, 2017; GUEST; BUNCE; JOHNSON, 2006) e considerando as limitações de recursos e tempo, usou-se um número inicial de entrevistas em torno de dez profissionais. A amostragem cessou quando se percebeu que a saturação de dados foi atingida, ou seja, muitas poucas novas percepções estavam sendo obtidas do processo. No total, foram conduzidas entrevistas com dez profissionais da MA. A descrição dos perfis dos entrevistados e das características da MA com que eles trabalham estão mostradas no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Perfis dos profissionais entrevistados

Empresa	Profissional	Posição na empresa	Duração da entrevista	Tempo na empresa (anos)	Quantidade de funcionários	Porte	Produtos e Serviços	Impressoras	Material da MA	Aplicações	Cientes
E1	P1	Líder de tecnologia	2h12min	1	20	Média	Revenda de Impressoras, materiais, softwares, scanners, suporte técnico e consultoria	<i>FDM, SLS e DLP</i>	Polímeros (ABS, PLA, resinas, pós)	Prototipagem e produto final	B2B (médica e odontológica, automotiva, educação)
E2	P2	Sócio-fundador	1h30min	4	3	Microempresa	Criação, modelagem 3D, prototipagem, impressão 3D e pintura	<i>FDM</i>	Polímeros (ABS e PLA)	Prototipagem, produtos finais e maquetes	B2B (agências de comunicação e empresas) e B2C
E3	P3	Diretor de serviços	1h11min	4	2600 no mundo, 60 no Brasil e 80/90 na América Latina	Grande	Impressoras, materiais, softwares, scanners, capacitação/treinamento, suporte técnico e consultoria	<i>DMP, MJP, SLS, SLA, CJP e DLP</i>	Metais (Titânio, Aço inoxidável, Aços maraging, Cobalto-Cromo, Liga de alumínio, Superliga de níquel) Polímeros (Semelhante ao polipropileno, ABS, Nylon, Elastoméricos, Biocompatível, PLA). Fundição metálica: ceras e plásticos fundíveis	Prototipagem rápida e produtos finais	B2B (médica e odontológica, automotiva, aeroespacial e defesa, e bens de consumo)
E4	P4	Proprietário	1h08min	1	2	Microempresa	Modelagem 3D, prototipagem rápida, ferramental rápido, impressão 3D e consultoria	<i>FDM</i>	Polímeros (PLA, ABS, ASA, PETG, PC, Nylon, TPE/TPU e compostos)	Prototipagem rápida, ferramental rápido e produtos finais	B2B (Médias e grandes empresas) e B2C
E5	P5	Gerente de serviços	2h02min	1	2	Pequena	Impressoras, materiais e consultoria	<i>LPBF (Laser Powder Bed Fusion)</i>	Metais (titânio, alumínio, aço inoxidável)	Prototipagem rápida e produtos finais.	B2B (Médias e grandes empresas)
E6	P6	<i>Designer mindset</i>	1h39min	4	2	Microempresa	Prototipagem e produtos finais	<i>FDM</i>	Polímero (PLA)	Prototipagem e produtos finais	B2B (Médias e grandes empresas automotiva) e B2C
E7	P7	Sócio-Proprietário	1h42min	4	5	Microempresa	Impressoras, materiais e consultoria	<i>FDM</i>	Polímeros (ABS e PLA)	Prototipagem rápida, ferramental rápido e produtos finais.	B2B (Pequenas, médias e grandes empresas) e B2C
	P8	Sócio-Proprietário	2h21min	4							
E8	P9 e P10	Fundador e Co-fundador	1h37min	3 e 1	2	Microempresa	Modelagem 3D, prototipagem rápida, impressão 3D, capacitação/treinamentos e consultoria	<i>FDM, SLA e DLP</i>	Polímeros (ABS, PLA e PETG)	Prototipagem rápida, ferramental rápido e produtos finais.	B2B (Pequenas, médias e grandes empresas)

Legenda:
Tecnologias: *ColorJet printing (CJP)*, *Digital Light Processing (DLP)*, *Direct Metal Printing (DMP)*, Estereolitografia (SLA), *Laser Powder Bed Fusion (LPBF)*, Modelagem por deposição fundida (*Fused deposition modelling - FDM*), *MultiJet printing (MJP)*, Sinterização Seletiva a Laser (*Selective Laser Sintering - SLS*).
Materiais: Acrilonitrila Butadieno Estireno (*Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS*), Acrilonitrila Estireno Acrilato (*Acrylonitrile Styrene Acrylate - ASA*), Ácido Polilático (*Polylactic Acid - PLA*), Elastômeros Termoplásticos (*Thermoplastic Elastomers - TPE*), Policarbonato (*Polycarbonate - PC*), Politereftalato de Etileno Glycol (PETG), Poliuretano Termoplástico (*Thermoplastic Polyurethane - TPU*).

Fonte: Dados da pesquisa.

Inicialmente, o mesmo guia de entrevista semiestruturado do estudo de caso múltiplo (Apêndice D) foi usado. As perguntas se concentraram em como os entrevistados perceberam os impactos da adoção da MA nas empresas clientes, quais eram suas percepções sobre o impacto da tecnologia (tanto negativa quanto positiva) e quais eram as motivações e limitações dessa adoção. A entrevista iniciou com perguntas gerais centradas no profissional e nas atividades de MA realizadas. Então, a partir da RSL, questões técnicas específicas foram projetadas para estabelecer a) se os entrevistados têm entendimento suficiente da tecnologia em si e b) se eles tinham experiência para identificar os impactos da adoção da MA nos clientes, assim como as motivações e limitações. Após isso, tentou-se dar uma ênfase maior às proposições advindas do estudo de caso múltiplo, a fim de se obter mais detalhes a respeito da opinião e experiência do profissional sobre os pontos-chave da pesquisa.

Todas as entrevistas ocorreram ao longo de três meses e duraram entre 70 e 140 minutos. Todas as entrevistas foram gravadas e transcritas. Em seguida, uma análise de conteúdo de cada entrevista foi realizada (SEURING; GOLD, 2012), baseada na classificação dos impactos da adoção da MA, motivações e limitações identificadas na RSL e também utilizadas nas entrevistas nas empresas do estudo de caso múltiplo. Utilizou-se também o *software* QDA miner (versão 4) para a codificação dos dados. Os resultados serviram de suporte para a análise dos resultados encontrados no estudo de caso múltiplo.

4.2.4 Qualidade da Pesquisa

Os procedimentos metodológicos seguiram os padrões de qualidade científica, conforme Ellram (1996) e Yin (2014), já que esta pesquisa aplicou o método de estudo de caso e entrevista com profissionais, os quais adotam abordagem empírica. Quatro critérios para avaliar a qualidade de qualquer projeto de pesquisa empírica são considerados: validade interna, validade do constructo, validade externa e confiabilidade. Estes estão descritos a seguir no contexto desta pesquisa:

- a) Gibbert et al. (2008) destacaram a importância de equilibrar critérios de validade em pesquisas empíricas qualitativas. A validade interna é evidenciada nas classificações consideradas, ou seja, as categorias dos constructos são definidas por *frameworks* estabelecidos na literatura. Os impactos da adoção da

MA foram identificados através de uma ampla RSL, os quais foram categorizados no modelo de negócio Canvas (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010). As categorias das motivações e limitações foram baseadas em uma pesquisa que analisou amplamente as motivações embasadas em importantes teorias (*DOI* e *UTAUT*) (SCHNIEDERJANS, 2017). A análise dos dados baseou-se principalmente em combinar eventos empiricamente observados com eventos teoricamente previstos através da RSL. Assim, a combinação de padrão foi feita comparando-se o padrão observado no estudo empírico com um padrão previsto antes da coleta de dados. Além disso, as discussões dos resultados discorrem “como” e “por quê” as evidências empíricas coletadas. Os elos das relações causais entre os impactos da adoção e as motivações e limitações observadas no estudo são explorados. Esses constructos estão correlacionados e são conectados por relações de causa e efeito. A codificação dos dados foi seguida e acompanhada de múltiplas iterações, para também estabelecer a validade interna, os resultados preliminares foram comparados com a literatura para avaliar a adequação dos conceitos e relações causais, e discutidos posteriormente com acadêmicos. Os resultados obtidos através das evidências observadas no estudo empírico são contrapostos com explicações rivais detectadas na literatura. Estas são as lentes usadas para analisar e sintetizar os dados da pesquisa.

b) Produz validade de constructos usando definições consolidadas em nível de modelo para traçar um modelo teórico conceitual. Múltiplas fontes de evidências foram gerenciadas à medida que o protocolo de pesquisa envolve conceitos de estudos anteriores obtidos a partir da RSL e a estrutura de constructos é refinada por meio de entrevistas semiestruturadas com profissionais, observações *in loco* e análise de dados secundários (abordagem qualitativa) das empresas do estudo de caso múltiplo. Dado o potencial de menor precisão dos métodos qualitativos devido à riqueza de informações de tais dados (AUERBACH; SILVERSTEIN, 2003), a triangulação multi-método, (RSL, estudo de caso múltiplo e entrevistas com profissionais) foi utilizada para garantir a validade do constructo no estudo. As perguntas foram desenvolvidas através da RSL e pré-testes foram realizados com dois profissionais e em uma das empresas para validá-las (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Os resultados foram discutidos em reuniões com acadêmicos para refinar as

questões e o protocolo de pesquisa (EISENHARDT et al., 2007; SPIGGLE, 1994). Assim, um Guia de Entrevista semiestruturado (Apêndice D) foi desenvolvido contendo questões abertas sobre as atividades das empresas e da adoção da MA, e as motivações e limitações da adoção dessa tecnologia. Tanto as transcrições das entrevistas com os funcionários das empresas do estudo de caso múltiplo quanto as dos profissionais da área de MA foram enviadas para revisão dos respondentes.

c) A validade externa é garantida por meio do domínio de especialização formado pelos profissionais entrevistados, pois contribuíram para elucidar os impactos da adoção da MA, além das suas motivações e limitações. O domínio de aplicação é limitado a empresas de manufatura, mas há alguns impactos que poderiam estar ligados de forma mais ampla a empresas de outros setores. Assim, a teoria para a generalização analítica foi usada explicando os resultados empíricos observados, com a sugestão de proposições ao final do estudo. Além disso, o método de estudo de caso múltiplo aumenta a validade externa porque os resultados comparativos podem ser analisados através de análises “intra casos” (*within-case*) e “entre os casos” (*cross-case*), utilizando assim uma lógica de replicação para outras pesquisas (YIN, 2014).

d) A confiabilidade é baseada no processo do protocolo de pesquisa com a utilização do Guia de entrevista semiestruturado. Além também de ter sido abordada por meio de uma série de procedimentos durante a fase de projeto dos casos, coleta e análise dos dados. Primeiramente, durante a fase de projeto dos dados, foi criado um protocolo de casos detalhado para permitir uma coleta sistemática de dados. Em segundo lugar, cada entrevista foi realizada face-a-face, com gravação de voz (a menos que não fosse permitida pelo entrevistado) e, finalmente, transcrita. Desta forma, um alto grau de confiabilidade e rastreabilidade dos dados foi assegurado (MCCUTCHEON; MEREDITH, 1993). A transcrição das entrevistas foi enviada aos respectivos participantes para revisão e aprovação dentro de um mês após o envio (YIN, 2014).

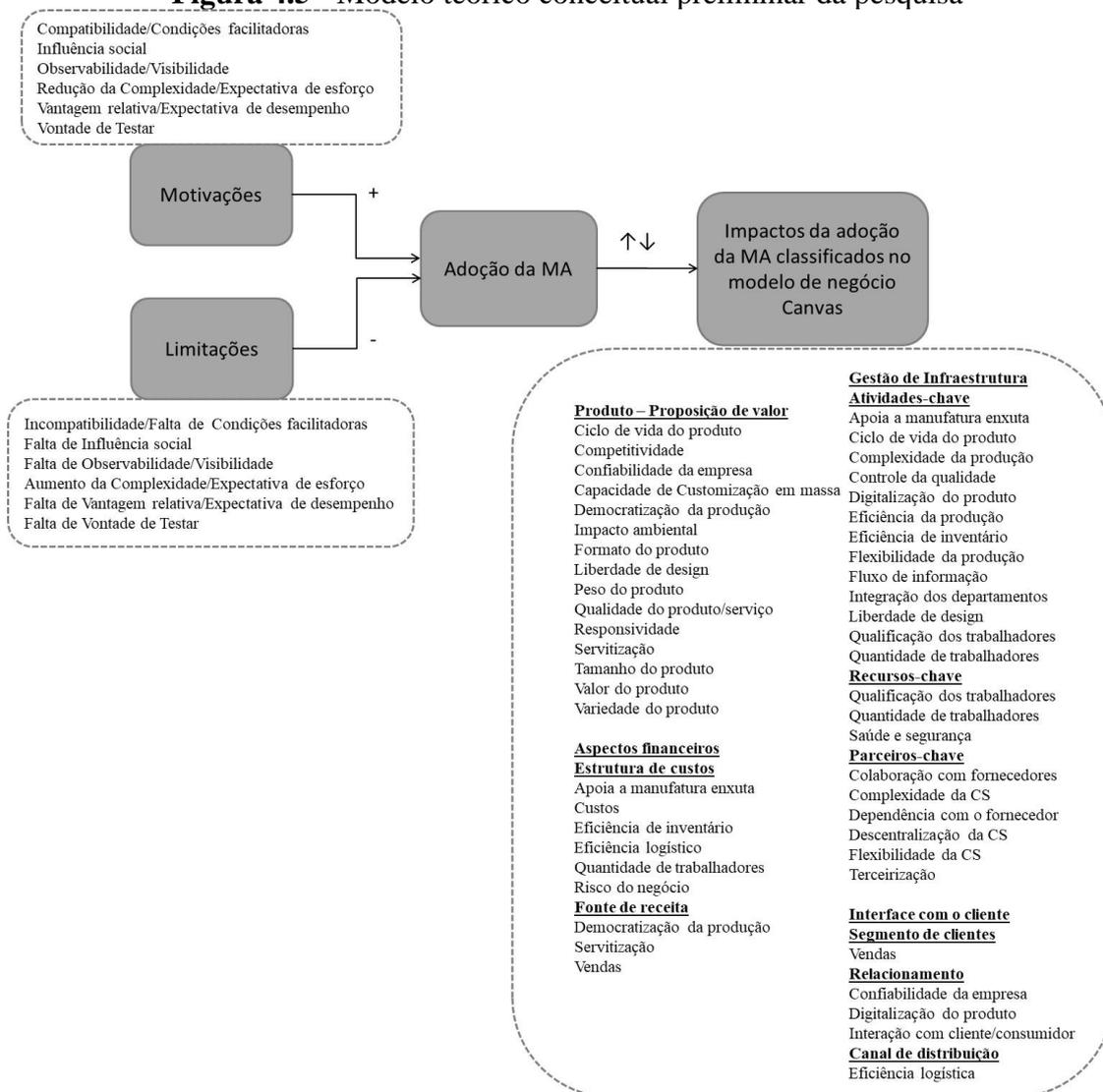
As próximas seções apresentam e discutem os resultados dos métodos de pesquisa empregados.

4.3 RESULTADOS

Primeiramente, o modelo teórico conceitual da pesquisa resultante da RSL é apresentado. Os resultados do estudo de caso múltiplo são mostrados e, em seguida, os dados das entrevistas com profissionais que corroboram com esses resultados são descritos.

4.3.1 Revisão Sistemática da Literatura

Com a realização da revisão sistemática da literatura (RSL) foi possível traçar um modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa, ilustrado na Figura 4.5. Assim, estão ilustradas as categorias e relações causais que formam a estrutura do modelo teórico conceitual, o qual captura a essência da pesquisa.

Figura 4.5 - Modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa.

O modelo teórico conceitual representa primeiramente os impactos da adoção da MA resultantes da RSL. Estes foram classificados nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas (pilar Produto com blocos de construção: Proposta de valor; pilar Interação com o cliente com blocos de construção: Segmentos de cliente, Relacionamento com clientes e Canal de distribuição; pilar Gestão de infraestrutura com blocos de construção: Atividades, Recursos e Parceiros-chave; e pilar Aspectos financeiros com blocos de construção: Estrutura de custos e Fonte de receitas) (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010).

No total foram identificados 38 impactos da adoção da MA no modelo de negócio Canvas. Por exemplo, um dos impactos encontrado na literatura foi que a adoção da MA reduz o ciclo de vida produto. Este foi classificado nos pilares Produto

bloco de construção Proposta de valor e Gestão de infraestrutura no bloco de construção Atividades-chave.

Outras relações representadas na Figura 4.5 mostram as motivações e limitações para a adoção da MA. Estas foram classificadas baseadas na pesquisa de Schniederjans (2017), a qual aprofundou o tema dos motivadores para a adoção da MA. O estudo fundamentou-se na Teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*). As motivações consideradas pela teoria *DOI* foram: Vantagem relativa, Compatibilidade, Complexidade, Observabilidade/visibilidade e Vontade de Testar; e as declaradas a partir da teoria *UTAUT* foram: Expectativa de desempenho, Expectativa de esforço, Condições facilitadoras e Influência social. Baseado nesse estudo, as motivações para a adoção da MA identificadas na RSL foram, da mesma forma, categorizadas nas teorias *DOI* e *UTAUT*. Sendo assim, nesta pesquisa as categorias de motivações consideradas foram: Compatibilidade e Condições facilitadoras; Vontade de Testar; Influência social; Redução da Complexidade e Expectativa de esforço; Observabilidade e Visibilidade; e Vantagem relativa e Expectativa de desempenho.

Como não foram encontrados estudos que categorizassem as limitações para a adoção da MA, as detectadas a partir da RSL foram classificadas nas mesmas categorias utilizadas nas motivações, porém considerando a falta da característica motivadora pontuada. Por exemplo, “Vantagem relativa e Expectativa de desempenho”, uma categoria da motivação, para a limitação passa a ser “Falta de vantagem relativa e expectativa de desempenho”, e assim por diante. Dessa forma, nesta pesquisa as categorias de limitações consideradas foram: Incompatibilidade e Falta de condições facilitadoras; Falta de Vontade de Testar; Falta de Influência social; Aumento da Complexidade e Expectativa de esforço; Falta de Observabilidade e Visibilidade; e Falta de Vantagem relativa e Expectativa de desempenho.

A próxima seção apresenta os procedimentos para realização do estudo de caso múltiplo embasado no modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa.

4.3.2 Análise Intracasos do Estudo de Caso Múltiplo

Os resultados aqui apresentados se referem ao estudo de caso múltiplo. As empresas foram denominadas α e β , de maneira a assegurar sua confidencialidade. Os resultados são apresentados separadamente na análise intracasos. Os impactos da adoção da MA que foram mais identificados em cada empresa são expostos.

4.3.2.1 Empresa α

A empresa α iniciou suas atividades na unidade estudada em 1996 e atualmente conta com, em torno, de 2500 funcionários. É uma multinacional da indústria aeronáutica e oferece o serviço de manutenção de motores de aeronaves. Os clientes desta empresa são principalmente companhias aéreas (*business to business - B2B*) e seu faturamento em 2018 foi de 2.5 bilhões de dólares.

Esta empresa começou a investir em MA em 2015, com uma impressora de tecnologia de Modelagem por deposição fundida (*Fused deposition modelling – FDM*), a qual imprime material polimérico. No início eles imprimiam apenas em ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), hoje eles utilizam também ASA (*Acrylonitrile Styrene Acrylate*), PEI (polieterimida, especificamente Ultem 1010 e 9085), e *nylon* com fibra de carbono. Eles usam a MA para impressão de protótipos, mas utilizam, principalmente, para impressão de equipamentos de produção, como máscaras, gabaritos e ferramentais. Dessa forma, a MA é usada para fabricar componentes customizados, de alta variedade, em lotes únicos ou pequenos, mas também em grandes lotes de peças.

Os entrevistados nesta empresa foram um engenheiro de manufatura e um projetista mecânico, os quais trabalham diretamente com a MA. O engenheiro de manufatura é líder da tecnologia na empresa e na América Latina e o projetista realiza projetos das peças a serem impressas. Os dois estão na empresa há oito e cinco anos, respectivamente, ou seja, acompanharam a implementação da tecnologia de MA na empresa. Esses dados são apresentados no Quadro 4.4.

Um impacto da adoção da MA bastante visível nesta empresa foi o aumento da responsividade dos processos. Antes da MA, todos os ferramentais (gabaritos, máscaras e dispositivos) do processo de manutenção de motores eram enviados para uma

Ferramentaria terceirizada e todas as peças eram fabricadas em metal. Levava em torno de seis meses para uma peça ser desenvolvida, fabricada e entregue. Com a MA, algumas ferramentas podem ser impressas na própria empresa em no máximo dois dias, entre projeto e confecção, conforme cita um entrevistado, “[foi] *possível reduzir este intervalo para poucos dias*”. Considerando apenas o tempo de produção, “*a confecção simples de um desses itens pode ser realizada em três minutos, antes gastava-se até quatro horas*”. Dessa forma, tornou-se factível “*dar respostas rápidas à oficina para problemas cotidianos*”, assim para ele “*o tempo foi o maior ganho*”.

Além disso, ganhou-se também no tempo de execução de trabalho dos operadores, já que a MA traz soluções, por exemplo, no processo de pintura. Antes eles tinham que mascarar (colar fitas especiais e caras), peça a peça, para que elas passassem por algum processo, como o jateamento. Em 2016, a empresa “*gastou cerca de 51 mil horas em processos de mascaramento para atividades de jateamento, plasma e aplicação de lubrificantes. Com a nova tecnologia [MA], a tendência é que esse tempo seja reduzido pela metade*”. Com a MA, foi possível, então, facilitar e agilizar essa atividade, já que máscaras customizadas são impressas para serem encaixadas rapidamente nas peças dos motores das aeronaves antes de seguirem para os processos seguintes. A produção de alguns ferramentais não precisa passar mais por um processo demorado de cotação antes de ser enviado à Ferramentaria, assim obteve-se um ganho na produtividade e, conseqüentemente, uma melhoria na eficiência de produção.

Na empresa α , “*tinha muito problema de qualidade de serviço*”, “*a gente tinha muita reclamação da ferramentaria*”, com a MA isso foi melhorado. A implantação da MA, começou com a utilização do material ABS, “*a gente conseguiu fazer bastante gabaritos de baixo esforço mecânico, [...] térmico, [...] químico e isso começou a se disseminar na empresa*”. Porém, quando esses gabaritos passavam por processos químicos, como a limpeza, “*o solvente do álcool ou acetona dissolvia o gabarito*”. Então, o ABS “*é um material que tem alguns problemas com resistência mecânica e química, e nós encontramos algumas barreiras*”. Sendo assim, desde 2017, a empresa utiliza PEI - Ultem 1010 e 9085 e, desde 2018, o nylon com fibra de carbono, que imprimem peças “*com alta resistência mecânica, química e térmica*” e “*forte o suficiente para substituir componentes metálicos*”. Estes são materiais “*mais robustos [e] tem uma resistência excelente a tratamento químico*” e as peças não precisam de pós-processamento. A empresa foi a primeira a utilizar o nylon com fibra de carbono no país que opera. Contudo, alguns processos ainda não utilizam peças impressas devido à

alta temperatura e ao grande impacto que sofreriam, assim “*A resistência mecânica do metal é muito melhor.*”. Dessa forma, “*tem muita coisa ainda que vai precisar da fita até a MA conseguir nos trazer materiais mais resistentes a esses tipos de intempéries*”. Além disso, peças que precisam ter precisão, tolerância geométrica, paralelismo e concentricidade muito grandes não são ideais para serem fabricadas com a MA. Outro ponto destacado por um dos entrevistados é que o acabamento das peças é bem inferior às peças produzidas com processos tradicionais (por exemplo, usinagem). Pode ter “*muita ranhura, muita rugosidade, [assim] a peça não sai lisinha.*”.

Isso leva à capacidade de customização em massa do processo de fabricação de ferramentais, sendo que para um dos entrevistados “*você vê aqui coisas únicas*”, “*agora eu consigo criar coisas mais individuais*”, “*operação mais personalizada*”, “*você não tem muita replicabilidade, [...], eles são [...] únicos, é muita coisa diversificada, muito diferente.*”, mas se necessário “*você tem como replicar n vezes de uma maneira fabril.*”

Com a MA, houve também maior viabilidade de fabricação de peças com formatos complexos. Inclusive ficou claro que a aplicação na empresa é focada nesse tipo de peças. Para um dos entrevistados “*a gente pode fazer o formato que quiser que vai [ser possível] imprimir*” e “*A impressão 3D abre um enorme leque de possibilidades de inovação.*”. Assim, a MA oferece maior liberdade de *design*, “*os projetos são mais flexíveis, você não tem limites de formas*”. Ademais, como as peças são feitas em polímero, estas são mais leves do que as que eram feitas pela Ferramentaria, as quais eram fabricadas em metal. Isso de certa forma beneficia a saúde e segurança dos operadores, uma vez que evita deles terem que carregar peças pesadas no processo de reparo de motores das aeronaves. Além também de reduzir a exposição deles ao óxido de alumínio advindo do processo de jateamento, já que reduziu a necessidade de descolar as fitas das peças submetidas ao processo de jateamento. Agora, algumas peças são mascaradas e com um simples e rápido desencaixe são desacopladas das peças, reduzindo o contato com a substância.

Uma atividade que foi expandida na empresa, após a MA, foi a digitalização das peças e os projetistas são os responsáveis. Um entrevistado afirmou que cerca de 95% das peças que serão impressas, não estão digitalizadas. Para ajudar na realização dessa atividade a empresa adquiriu um novo escâner, durante a visita constatou-se que eles estavam recebendo treinamento para o uso da nova tecnologia. Assim, conforme um respondente “*Com o escâner, a gente vai ter essa facilidade de pegar geometrias extremamente difíceis, para poder fazer nossos mascaramentos.*”, pois a maioria dos

desenhos das peças das aeronaves são segredos industriais (mesmo entre sedes e segmentos da própria empresa) e para fabricar os ferramentais, seria muito melhor ter acesso a eles. Contudo, isso não ocorre, então, o escâner irá facilitar e agilizar nesse processo de digitalização.

Nesta empresa foi possível identificar a democratização da produção, já que todas as áreas têm acesso à MA. “*No primeiro momento começou muito na área de reparo, [...] e agora já está começando a expandir*” para a montagem, desmontagem, manutenção e pintura. Os funcionários de todas essas áreas propõem ideias e fazem sugestões relacionadas à utilização da MA na sua estação de trabalho, “*surgem muitas sugestões de uso e empregabilidade.*”. Um diferencial desta empresa foi que, ao invés de instalar as impressoras no departamento de engenharia, eles colocaram no meio do chão de fábrica (oficina) em uma sala de vidro, onde “*todo mundo pode vê-las e acessá-las*”. Fora da sede visitada também há interesse no uso da MA, um entrevistado contou que funcionários de outra sede da empresa (banco de prova) os procuram para fazer projetos com a MA. Também acontece de realizar projetos junto com outras sedes e, até mesmo, outros segmentos da empresa, já que a empresa atua em vários, sendo um deles o de MA. Além disso, como eles são pioneiros no uso da tecnologia, recebem muitas visitas de outras empresas, de outros setores e indústrias, como também dos próprios clientes, querendo fazer *benchmarking*.

Outro efeito da adoção da MA observada na empresa, é a maior integração dos departamentos, “*houve um estreitamento do laço com a oficina*”, “*envolvimento de todas as áreas da empresa*”. O responsável pela MA reuniu todas as áreas e convidou a todos para conhecer a nova tecnologia. Isso levou à uma “*sinergia mais profunda entre as áreas*”. Nesta unidade da empresa, começou-se a utilizar um *software* para fazer o gerenciamento dos projetos das ferramentas da produção. Além disso, para atacar problemas de certas áreas na empresa eles aplicam o *action work out (AWO)* e, antes da MA, o departamento de engenharia nunca tinha participado de nenhum. Agora a engenharia participa sempre e muitos deles a MA tem sido usada na solução dos problemas. O entrevistado lembrou que “*não tinha este controle de projetos e a gente não dava oportunidade do [operador] da oficina [propor melhorias] de projeto para os problemas deles*”. Outro entrevistado ressalta que antes da MA eles não trabalhava tão próximo a outros setores da empresa, “*Quando eu comecei a trabalhar aqui eu não sabia onde era a pintura. Hoje o pessoal da pintura me liga direto.*”

Isso resultou em um maior fluxo de informação entre os setores da empresa, um entrevistado destacou que a engenharia “*recebe até três novas ideias por semana.*” para a MA, os operadores “*se acostumaram a passar todo tipo de sugestões para os engenheiros.*”. Além disso, *feedbacks* positivos e negativos são trocados constantemente dentro e fora da empresa, como já dito anteriormente. Com isso, a MA auxilia a manufatura enxuta na empresa, uma vez que alguns *kaizens* podem ser implementados com a MA. Um respondente disse que no “*ano passado, a gente colocou meta de cinquenta kaizens só de 3D. [...] só de projeto rápido teve mais de cinquenta [...]*” e complementa, ainda, que “*antes o [operador] tinha um kaizen, um projeto, uma ideia, a gente não conseguia colocar isso em pratica, pela falta de ter como fazer. Hoje tem como fazer um projeto, uma melhoria, pelo simples fato de poder tentar.*”. Conforme dito por ele, no fim de cada ano, há premiação das melhores ideias, “*nos últimos três anos, tivemos como melhores kaizens, impressora 3D.*”.

Este entrevistado disse, ainda, que agora tem acesso e um contato mais próximo com os funcionários do laboratório da empresa em outro país, que tem maior conhecimento, e máquinas e materiais (principalmente metais) de última geração. Além disso, mensalmente eles têm reuniões para apresentarem os projetos e compartilharem aprendizados. Antes da MA, o entrevistado confessa que “*não tinha integração de projetos, não era comum ver troca de projetos*”, “*nunca iria conversar com [alguém] da China, esta integração aumentou muito, porque a rede vai aumentando e você tem a oportunidade de ajudar e ser ajudado também.*”.

Com o aumento dos projetos e expansão para vários setores, a empresa teve que contratar mais projetistas, hoje tem dois totalmente dedicados aos projetos da MA, além também de dois estagiários com o engenheiro para ajudar com o processo de impressão e pós-processamento quando necessário. Esses profissionais tiveram que ser treinados internamente para realizarem projetos de MA, o engenheiro ressalta que “*antes [da MA] eram estagiários, hoje a gente precisa de designers mesmo, com experiência em Solidworks, então aumentou a qualificação deles.*”. Como a empresa é pioneira na utilização do nylon com fibra de carbono, no dia-a-dia é que há um aprendizado constante “[*era*] *na tentativa e erro, no início, agora, a gente tem um cronograma de como fazer.*”.

A utilização da MA teve um impacto positivo na questão ambiental da empresa, ou seja, reduziu o impacto ambiental. No processo de mascaramento de peças eram usadas fitas especiais, muito agressivas ao meio ambiente. Hoje, alguns mascaramentos

são feitos com peças impressas. Dessa forma, reduziu-se a utilização e, conseqüentemente os resíduos gerados nesse processo. As máscaras impressas são reutilizadas. Um entrevistado lembra que a manufatura convencional ou subtrativa gera muito resíduo (cavaco). Com a MA, deposita-se material apenas onde realmente é necessário, trazendo “*economia de material*” e redução de desperdícios. Porém, ficou evidente que os protótipos e peças impressas que não atingiram a qualidade necessária, são descartados. Isso acontece ou por erros de projetos ou porque as máquinas de impressão 3D têm que ter sua manutenção em dia e, muitas vezes, quando estão em operação constante, podem produzir peças defeituosas. Por exemplo, o bico de extrusão pode dar problema, começar a entupir, assim, esta é uma limitação da tecnologia.

Uma outra consequência importante da adoção da MA, foi a redução da dependência com fornecedores, no caso desta empresa principalmente da Ferramentaria, que é uma empresa terceirizada. A MA substituiu em partes a terceirização da fabricação de ferramentais, como falou um dos entrevistados “*O projeto 3D reduziu os serviços terceirizados que antes eram feitos pela Ferramentaria.*”. Assim, não há meses de esperas para a ferramenta ficar pronta. Apenas peças que requerem uma alta qualidade para controle dimensional, altas temperaturas e grandes impactos mecânicos são destinadas à Ferramentaria, pois “*você vai ter a precisão [...] para você alcançar um acabamento superficial [...] premium.*”. O respondente declara que as atividades da terceirizada foram realmente diminuídas, uma vez que a empresa em estudo é o seu principal cliente. Com isso, a cadeia de suprimentos da empresa foi também simplificada, não há processos de cotações e grandes esperas, conforme já comentado anteriormente.

Um resultado significativo da implementação da MA é o impacto nos custos da empresa. Segundo um entrevistado, “*teve uma redução expressiva, porque tem a parte do tempo do operador que economizou e a parte do custo a própria ferramenta. Um gabarito que antes era US\$3000/\$4000, a gente imprime aqui por \$300.*”, então tem a economia no custo da ferramenta, como também no tempo que era desperdiçado do funcionário. A Ferramentaria, empresa terceirizada, cobra seus projetos em dólares, lembro o outro entrevistado, assim as peças estão custando bem caro para a empresa, já que o dólar encontra-se em alta. Ele salienta, ainda, que houve economia na compra de fitas especiais necessárias para mascarar as peças, já que em alguns casos estão sendo utilizados máscaras impressas em 3D. Contudo, verificou-se que o investimento inicial nessa tecnologia é muito alto, cerca de US\$600.000,00, mais o cabeçote em torno de

US\$150.000,00 cada. Os materiais também são, quanto maior for a qualidade requerida da peça mais caro é o material usado. O *nylon* com fibra de carbono é o material mais caro utilizado para impressão na empresa. Além disso, um dos respondentes lembrou que teve “um investimento alto para a digitalização [das peças], o escâner, mas [a empresa] teve que comprar.” para agilizar esse processo e potencializar o uso das impressoras 3D. Mas o responsável por essa tecnologia garante que o “*retorno em termos de negócio e de desenvolvimento é infinitamente mais alto.*” e que todo o investimento em MA feito já foi recuperado.

A motivação inicial da adoção da MA nesta empresa, foi a iniciativa de um outro segmento focado em MA da empresa, nos EUA, de enviar duas impressoras para serem utilizadas. Percebe-se que há grandes ações na empresa de desenvolver e estar aberto a novas tecnologias, isso faz parte de sua cultura, “*se deve ao fato de sempre acreditar e apostar em novas ideias e tecnologias.*”. Isso também é inerente à indústria aeronáutica, em que as empresas operam. O líder da MA na empresa reforçar ainda que a alta gerência “*me [deixou] bem livre para tomar as decisões.*”, para ele, isso foi bastante importante e desafiador.

Inicialmente, não se tinha certeza que a MA poderia trazer grandes benefícios para a empresa. Então, a motivação também está relacionada com a vontade de testar a tecnologia, como mesmo disse um dos entrevistados “*A gente começou a fazer um monte de testes para saber até onde a gente podia aplicar.*”. Hoje, os testes continuam rotineiramente na empresa “*A gente faz, se der certo, ótimo; se não, fica o aprendizado. Tudo na engenharia depende de testes e, se for para errar, é melhor que seja rápido.*”.

As motivações para a adoção da MA mais evidentes são os benefícios que a tecnologia tem trazido para a empresa (“*Até eu ter certeza que o investimento foi feito de forma certa e os resultados foram bons, a gente ficou apreensivo.*”). Estes foram a redução de custos; o aumento da eficiência do processo de reparo de motores de aeronaves, “*processo mais ágil, com a otimização de fluxos, e a operação cada vez mais personalizada*”; o aumento da responsividade e versatilidade dos processos; e ferramentais com maior “*qualidade, resistência e leveza*”.

A motivação de ter colocado as impressoras em uma sala de vidro no meio do chão de fábrica, foi a visibilidade que isso ia causar aos operadores. Para que despertasse a curiosidade deles, eles entendessem o funcionamento e, com isso, quisessem propor ideias. Isso aguçou o uso da tecnologia de MA dentro da empresa. Na premiação anual de melhores *kaizens* que a empresa faz, o troféu foi impresso em 3D,

aumentando ainda mais a visibilidade da tecnologia. E também externo à empresa, houve essa maior visibilidade, já que outras empresas a visitam para conhecerem as melhores práticas (*benchmarking*), entre elas, a utilização da MA. Hoje, a empresa α é referência e pioneira na adoção e uso da MA no país que opera, principalmente com a utilização do material *nylon* com fibra de carbono.

Outra motivação citada por um dos respondentes está relacionada com o interesse dos clientes de saberem que o reparo de seus motores está sendo realizado com equipamentos de alta tecnologia. Isso é um diferencial, diz o entrevistado, “é visto com bons olhos, que a empresa se inove. Porque isso é um braço da inovação que a gente tem.”. Além disso, a MA proporcionou menor complexidade no processo de reparo dos motores das aeronaves, como já falado anteriormente, a tecnologia reduziu a necessidade de mascarar algumas peças no processo de pintura. Em muitas peças o funcionário perdia muito tempo mascarando as peças e agora apenas encaixa a máscara impressa em 3D.

Ao mesmo tempo que as motivações foram identificadas, as limitações para a adoção da MA também foram analisadas. A MA tem suas desvantagens em relação aos processos tradicionais de fabricação. O que ficou mais evidente é que os equipamentos, como impressoras e escâneres, são caros, assim, requereram altos investimentos da empresa. Como salientou o responsável pela MA “*uma daquelas máquinas [custa US\$600.000 mais o cabeçote US\$150.000, a gente está falando de mais de um milhão de dólares por máquina e a gente tem duas. Teve construção de sala, treinamento, então é muito [dinheiro] envolvido.*”.

Há limitações em relação à qualidade das peças dependendo do material usado. O ABS foi um dos materiais usados no começo da implantação e este apresenta alguns problemas de resistência mecânica e química. Além disso, as peças impressas não são indicadas para precisões, inspeções e posicionamentos dimensionais, pois “*a impressora 3D tem algumas imprecisões em termos de planeza*”. Tem-se, ainda, a descrença dos próprios funcionários na utilização da MA, já que as peças não são perfeitas como as fabricadas pela Ferramentaria, mesmo que ele não necessite dessa perfeição para a aplicação da peça. Além disso, o armazenamento dos materiais deve ser muito bem feito para que não se tenha problemas de qualidade nas peças impressas. Um dos respondentes contou que eles tiveram problemas, pois não estavam armazenando os materiais conforme determinado pelos fabricantes e acabaram perdendo o estoque.

Um limitante inerente da impressora 3D é o tamanho das peças impressas, a maior que tem na empresa é de 16 por 16 por 14 polegadas de volume. Então, as peças estão limitadas dimensionalmente. Contudo, os entrevistados afirmaram e mostraram que, quando há a necessidade de fabricação de peças maiores, estas são construídas fracionadas e com encaixes fáceis ou usam parafusos, buchas ou até, mesmo, polímero misturado a algum solvente para juntá-las. Ademais, para peças com formatos extremamente complexos, usa-se o material negativo para produzi-las. O pós-processamento é uma atividade necessária nesses casos e, algumas vezes, trabalhosa, por isso o formato das peças é muito bem estudado antes da impressão.

Um dos respondentes observou que a máquina apresenta erros ainda, não é um sistema perfeito e eles tiveram que aprender o ponto que ela começa a errar. Para ele *“não é somente, erro da máquina, mas a resposta do material, também modifica.”*. No início foi na tentativa e no erro o aprendizado e, hoje, eles têm registrado os parâmetros necessários das máquinas, dependendo do material utilizado (*“como fazer, se for para esse material, a folga com pressão, sem folga leve”*). Durante a visita, verificou-se que uma das máquinas estava parada esperando manutenção, que é realizada pelo fornecedor representante da empresa fabricante no país, e a outra estava com problemas de impressão porque o cabeçote estava entupido. O líder da MA mesmo realizou um simples reparo na máquina para voltar a funcionar normalmente. Essas nuances de funcionamento da impressora foram aprendidas no dia a dia quando os problemas foram acontecendo.

Uma barreira percebida, está relacionada aos fornecedores e à propriedade intelectual dos projetos das peças. Conseguir os desenhos das peças do motor das aeronaves para realizar projetos de máscaras e dispositivos é praticamente impossível. Um entrevistado afirmou que isso dificulta muito a realização das etapas da MA na empresa, uma vez que se os desenhos fossem fornecidos, a etapa de projeto dos ferramentais seria agilizada. Por isso a empresa decidiu investir no escâner, para não depender desses fornecedores. Uma consequência disso é a necessidade de profissionais para projetar as peças, o que sobrecarrega os que já estão na empresa. Além de precisar também de mais profissionais exclusivos para as atividades da MA, já que estagiários foram contratados para isso. A empresa está tendo que se reestruturar para conseguir desempenhar essa nova tecnologia internamente.

4.3.2.2 Empresa β

A empresa β iniciou suas atividades na unidade estudada em 1969 e atualmente conta com, em torno, de 10000 funcionários. É da indústria aeronáutica e de defesa e segurança, fabrica aeronaves comerciais e executivas. Os clientes desta empresa são companhias aéreas, empresas (*business to business - B2B*) e consumidores finais (*business to consumer - B2C*) e seu faturamento em 2018 foi de 5.1 bilhões de dólares.

A empresa tem investido em MA desde a década de 90, com a finalidade de protótipos. Porém, a empresa investe em pesquisa para a fabricação desde 2012. Dessa forma, iniciou a aplicação em 2014. No início eles utilizavam apenas para imprimir protótipos, hoje imprimem equipamentos de produção (gabaritos) e peças finais que são usadas nas aeronaves. A MA substituiu o processo de laminação manual para fabricação de componentes não estruturais e não metálicos de menor cadência. Na empresa são usadas as tecnologias de Estereolitografia (*Stereolithography - SLA*) para prototipagem, *FDM* para equipamentos de produção e peças finais, e estão fazendo testes da utilização da fusão de camadas em pó (*Powder Bed Fusion - PBF*). Os materiais são polímeros, resina epóxi para *SLA* e termoplástico (Polieterimida - PEI) para *FDM*; e metal, titânio, para *PBF*. Dessa forma, a MA é usada para fabricar componentes customizados, de alta variedade e em lotes únicos ou pequenos.

Os entrevistados nesta empresa foram um engenheiro de manufatura e um engenheiro de desenvolvimento de processo, os quais trabalham diretamente com a MA. O engenheiro de manufatura é o responsável pelas iniciativas de desenvolvimento tecnológico relacionadas à MA. E o engenheiro de desenvolvimento de processo é responsável pela manufatura de termoplásticos (materiais compósitos), faz simulações e estimativas com o *software* do fornecedor de MA, o qual é a base de cálculo dos custos de fabricação. Os dois estão na empresa há tinta e um e quinze anos, respectivamente, ou seja, acompanharam a implementação da tecnologia na empresa. Esses dados são apresentados no Quadro 4.4.

Um impacto da adoção da MA bastante visível nesta empresa foi o aumento da responsividade do processo de prototipagem e de fabricação de peças não estruturais. Assim, consegue-se imprimir protótipos e peças com maior agilidade. No processo de prototipagem, com a MA, reduziu-se o tempo de desenvolvimento de produto e o ciclo de modificação do produto é bem menor. Assim, o sistema de Desenvolvimento Integrado do Produto (DIP) ficou mais dinâmico. Para um dos entrevistados, houve

redução no ciclo de desenvolvimento do produto, que envolve as atividades de concepção, projeto, fabricação, inspeção e certificação. Para ele, a prototipagem com a MA, agiliza o principalmente o processo verificação/prova do conceito do produto.

A tecnologia de MA, proporciona ainda maior liberdade de *design* das peças, por meio da utilização do *Design for Technology (DfT)*, em que pôde-se aumentar a flexibilidade do desenho pela redução das restrições do processo produtivo. A empresa tem também iniciativas no desenvolvimento do conceito do *Design for Additive Manufacturing (DfAM)*, o qual considera um novo paradigma de *design* e a impressão de peças mais leves. Esta redução no peso das peças é um critério importante para a indústria aeronáutica, na qual a empresa está inserida. A empresa ainda não conseguiu produzir peças mais leves com a MA, mas em testes conseguiu-se obter uma redução de 30% da massa de uma peça metálica. Dessa forma, a mudança no conceito de *design* está acontecendo na empresa. Os projetos das peças a serem impressas já existiam na empresa, mas tiveram que ser adaptados à nova forma de fabricação. Conforme um dos entrevistados, as peças podem ter formatos não convencionais (complexos) e, muitas vezes, realiza-se a integração de partes da peça para imprimir em uma peça só. Isso reduziu montagens posteriores e, por consequência, a peça integrada ficou mais complexa. Uma maior variedade de peças e protótipos é produzida na empresa com mais rapidez. Assim, obteve-se uma maior capacidade de customização em massa, sendo que peças de diferentes formatos, tamanhos e características podem ser produzidas em uma mesma impressora, conforme a necessidade da empresa.

No processo de fabricação de peças não estruturais, houve a redução no tempo de execução dessa atividade, consequentemente, no tempo dessas peças em estoque. A MA reduziu, também, a necessidade de utilização de ferramentais, o que reduziu o tempo relacionado com projeto e fabricação de tais ferramentas. Assim, identifica-se que a MA simplificou os processos de produção da empresa. As impressoras requerem um rápido *set up de* calibração entre as impressões e há menos interferência humana, já que o processo é mais automatizado. O processo de MA por si só é mais simples, pois integra várias etapas de fabricação em um único processo, além de ter menos trabalhos manuais realizados. Com isso, há uma menor necessidade de controle para se garantir a qualidade das peças impressas, apenas controle quanto a umidade e temperatura do ambiente de impressão e estoque da matéria-prima.

Uma consequência percebida com a implementação da MA, foi a integração entre os departamentos de engenharia (P&D) e produção. Principalmente no início, em

que todos tiveram que aprender juntos as possibilidades de adoção da tecnologia. Houve, ainda, uma maior procura de outros departamentos, como manutenção, qualidade e outras fabricações, querendo estudar conjuntamente a viabilidade de aplicação da MA. Essa integração já existia na empresa pelo DIP, contudo essas relações foram estreitadas com o uso da MA. Identifica-se, assim, uma democratização da produção na empresa, já que outras áreas também estão estudando a possibilidade de usar a tecnologia nas suas atividades e isso é estimulado dentro da empresa. No início era apenas o departamento de engenharia que tinha acesso, hoje já se tem uma área de fabricação utilizando. Outras áreas (manutenção, qualidade e outras fabricações), com a ajuda das áreas que já tem conhecimento e experiência, estão testando as possíveis aplicações também e algumas peças são impressas para esses setores. Todavia, as impressoras são de exclusividade das áreas que as adquiriram, para utilizá-las, um técnico treinado deve autorizar e realizar a impressão para os outros setores solicitantes. Não houve um aumento do fluxo de informação no início da adoção da MA, por ser, ainda, uma novidade. Apenas os departamentos de engenharia e fabricação houve colaboração para troca de experiências e pela maior maturidade da engenharia com aplicação da MA em protótipos. Mas, ao longo do tempo, com a divulgação e conhecimento das pessoas sobre a existência da tecnologia na empresa, houve um aumento do fluxo de informações, pela maior troca e demanda de peças para o processo de MA.

Os funcionários que trabalham com a MA foram treinados internamente pelos fornecedores dos equipamentos. Estes são técnicos, projetistas, engenheiros e operadores (antes laminadores) especializados e qualificados para realizar as atividades da MA. Os projetistas foram treinados, por exemplo, baseado no conceito do *Design for Additive Manufacturing (DfAM)*, a fim de enxergarem novas possibilidades de *design*, sem as restrições que tinham que lidar anteriormente pelo processo tradicional de fabricação (laminação manual).

Com a adoção da MA, foi possível obter maior eficiência da produção e inventário, pois reduziu-se o consumo e desperdício de matéria-prima; reduziu-se também o armazenamento de peças, sendo que o estoque de proteção (*buffer*) foi reduzido; várias peças podem ser impressas em um mesmo ciclo de impressão, se a base da impressora as comportar, dependendo do tamanho e volume de produção; aumentou-se o volume de produção por espaço ocupado para produção; e lotes mais econômicos, tudo isso levando à otimização da produção. Houve maior flexibilidade de produção,

pois a mesma impressora consegue produzir diferentes tipos de peças, as quais podem ter diferentes especificações de geometria e dimensão, desde que seja do mesmo material. Essa flexibilidade, segundo um dos entrevistados, é algo intrínseco da MA, porém está limitada aos requisitos desejados da peça impressa e à velocidade de impressão.

Com a MA, verificou-se uma redução de inventário no setor de fabricação de peças não metálicas e o estoque de matéria-prima foi alterado para filamentos de PEI, os quais ocupam menos espaço. Neste setor tem-se categorias de peças *make to order* (MTO) e *make to stock* (MTS), e obteve-se maior eficiência de inventário nas MTS. Além disso, a MA melhorou, ou seja, reduziu o impacto ambiental gerado pela empresa, uma vez que otimizou o uso do material, conseqüentemente, reduziu os resíduos destinados à reciclagem; e redução no consumo de água e energia. Contudo, há ainda a geração de resíduos (PEI), os quais são destinados a reciclagem de polímeros.

A MA gerou uma certa dependência com o fornecedor da MA, uma vez que a matéria-prima é adquirida apenas de um fornecedor, o qual é representante autorizado do fabricante das impressoras. Os materiais licenciados são apenas fornecidos por esta empresa, que está habilitada também a dar treinamentos aos funcionários. Este fornecedor ajuda nos processos de calibração, manutenção e impressão interna, até a qualificação do processo de fabricação. Dessa forma, a colaboração entre a empresa e o fornecedor é frequente, a fim de desenvolver soluções e identificar aplicações da MA na empresa. Um entrevistado relatou que, como a indústria aeronáutica apresenta requisitos rigorosos de certificação de peças, materiais e processos, eles contratam consultorias para ajudar a desenvolver o projeto de P&D de peças metálicas. Contudo, algumas peças não estruturais e não metálicas eram compradas e, hoje, são feitas internamente com a MA, substituindo a terceirização da fabricação de alguns componentes. Assim, houve um aumento dos serviços internos oferecidos a partir da implementação da MA, já que mais peças são fabricadas pela empresa.

Os custos de fabricação de peças não estruturais e não metálicas e também os custos de matéria-prima foram reduzidos após a implementação da MA. Um dos entrevistados destacou que a tecnologia não seria adotada se trouxesse um aumento no custo por peça fabricada, mesmo trazendo várias vantagens. Fez-se um estudo para comprovar que o custo unitário da peça reduziu, para o cálculo, o valor presente líquido (VPL), depreciação e outras variáveis foram consideradas. Ainda, a MA reduziu os custos de projeto e fabricação de ferramentais, já que menos ferramentas são

necessários na produção. Sendo assim, a estrutura de custos da empresa foi alterada neste departamento, já que houve redução dos custos recorrentes (energia, insumos etc.) e nos custos não recorrentes (ferramentais, dispositivos, etc.). A economia que a MA tem gerado é feita de forma qualitativa (intangíveis) e quantitativa (custo de fabricação e custo de não-qualidade). Todavia, deve-se ressaltar que houve um investimento inicial com relação aos equipamentos da MA (impressoras, insumos e *softwares*).

Inicialmente, as motivações para a implementação da MA na empresa foram principalmente para testes e experimentação. Começou com prospecção de quais eram as tecnologias existentes, o que elas poderiam fornecer, avaliação das características das peças impressas em relação aos requisitos, além de análise da viabilidade econômica e robustez do processo de fabricação.

Em um segundo momento, as motivações mais evidentes passaram a ser os benefícios que a tecnologia tem trazido para a empresa, muitos deles já apresentados anteriormente. Dentre elas estão a redução no tempo de desenvolvimento de produto, com rapidez na fabricação e melhoria de protótipos; e redução no tempo de fabricação de peças finais, em que se obteve também redução no tempo de entrega das peças para a montagem. Conseguiu-se também uma redução no peso das peças, obtida através do desenho de peças mais leves (*DfAM*), otimizando a utilização da matéria-prima e reduzindo o desperdício gerado no processo de fabricação. Dessa forma, foi possível viabilizar novos conceitos/*design* de produto, por meio da utilização também do método *DfT*, em que pôde-se aumentar a flexibilidade de desenho pela redução das restrições do processo produtivo.

As iniciativas relacionadas à Indústria 4.0 são consideradas pela empresa, devido ao potencial das tecnologias proporcionarem aumento da competitividade e valor ao produto. Eles realizam estudos para analisar se compensa fazer internamente ou comprar (*make or buy*) as peças, inclusive estão estudando a compra de uma segunda impressora para a fabricação de peças finais, levando em consideração a carga/capacidade e o custo/benefício para a produção. Assim, percebe-se que outra motivação forte é o menor custo de produção e não qualidade oferecidos pelo uso da tecnologia de MA. Há, ainda, a análise da qualidade das peças impressas. Dessa forma, verifica-se se a MA é aplicável para a produção de determinadas peças, como muitas delas obtiveram os requisitos de projeto, isso foi uma motivação para utilizar a tecnologia na empresa.

A redução da complexidade do processo de laminação manual também foi uma motivação da adoção da MA na empresa, pelos benefícios já discutidos, como redução da intervenção humana e da necessidade de ferramentais no processo. Assim, há a análise de robustez do processo de fabricação com a MA e são aplicados apenas naqueles que trazem maior simplificação às atividades. Uma outra motivação citada por um dos entrevistados é a maior visibilidade que a MA pode dar à empresa, a fim de mostrar capacidade de inovação dos processos. Isso é feito através de divulgação em revistas especializadas e apresentações em congressos. Além disso, há um estímulo interno através do DIP para expandir a atuação da MA. Dessa forma, a empresa capacita os funcionários sobre a tecnologia, com o intuito de melhorar o conhecimento e gerar ideias de aplicações. Então, faz parte da cultura da empresa investir sempre em novas tecnologias.

Ao mesmo tempo que as motivações foram identificadas, as limitações para a adoção da MA também foram analisadas. A MA tem suas desvantagens em relação aos processos tradicionais de fabricação. Inicialmente, a falta de vontade de testar e experimentar as possibilidades foram uma limitação na empresa, além também da estrutura disponível da empresa não ser suficiente para absorver a tecnologia. Contudo, ao longo do tempo, com os resultados obtidos, essa barreira foi desaparecendo e os recursos foram adquiridos.

Atualmente, as principais limitações que eles encontram estão relacionadas aos materiais, pois tem poucos disponíveis, nem todos atendem aos requisitos da indústria aeronáutica e por isso não tem certificações. Um respondente acrescentou que não há um suporte solúvel certificado para a indústria aeronáutica. Este é importante pois viabiliza mais formatos complexos das peças. A necessidade de ambiente controlado de umidade e temperatura para a armazenagem dos materiais e se garantir a qualidade de impressão é uma limitação da tecnologia também.

O tamanho das peças impressas é limitado, sendo que depende da área envelope operacional (base ou plataforma) da impressora. A qualidade das peças impressas ainda peca em acabamento superficial e as propriedades mecânicas de alguns materiais são inferiores aos mesmos processados por outras tecnologias convencionais. Além disso, quanto maior a qualidade requerida da peça menor é a velocidade de fabricação da mesma. Um respondente acredita que novas aplicações acontecerão através do aumento gradativo da maturidade da tecnologia de MA. Contudo, para ele, a MA para peças

metálicas se apresenta mais desafiadora do ponto de vista de desenho das peças, qualificação do processo de fabricação e certificação para aeronaves.

Outra barreira enfrentada na aplicação da MA citada por um dos entrevistados é normas técnicas em desenvolvimento para peças aeronáuticas. Assim, os órgãos responsáveis pelo setor ainda não estão preparados para a aplicação da nova tecnologia. Além disso, o fornecedor de materiais e equipamentos da MA, possuem as patentes, centralizando as certificações e licenças para atuar no setor. Isso garante maior qualidade aos processos e peças, porém limita a ampliação do uso da tecnologia.

Outro ponto que barra a ampla adoção da MA é a maturidade interna da empresa com relação à MA, sendo que esta cultura está ainda em formação, principalmente para utilizar os conceitos de *DfAM*. Um entrevistado confessou que sente que há um desconhecimento sobre a capacidade da tecnologia.

4.3.3 Análise Intercasos do Estudo de Caso Múltiplo

As semelhanças e diferenças entre as empresas α e β são discorridas nesta análise intercasos, comparando-se com a literatura. Como mostrado no Quadro 4.6, os resultados dos impactos da adoção da MA foram divididos nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas: Produto - Proposta de valor; Gestão de infraestrutura - Atividades, Recursos e Parceiros-chave; Interação com o cliente - Segmentos de clientes, Relacionamento e Canal de distribuição; e Aspectos financeiros - Estrutura de custos e Fontes de receita (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010). Além disso, os que foram mais, menos e não verificados nas empresas são apresentados. Se os resultados corroboram com a literatura, estes estão marcados com o símbolo “✓”, assim a literatura descreveu evidências empíricas que foram confirmadas nos casos. Aqueles resultados que são as primeiras evidências empíricas estão como “primeira”, ou seja, a literatura descreveu conceitualmente, mas não havia ainda comprovação empírica, então os resultados dos casos trouxeram esses novos *insights*. Por fim, os resultados que são novidade para a literatura estão descritos como “inédita”, assim não havia apontamentos na literatura. As motivações e limitações encontradas nos dois casos do estudo são discorridas também nesta subseção.

Quadro 4.6 – Impactos da adoção da MA mais, menos e não identificados nas empresas α e β

Blocos de construção do modelo de negócio Canvas	Empresa α				
	Impactos não identificados	Impactos menos identificados	Literatura corrobora?	Impactos mais identificados	Literatura corrobora?
PV		↓ responsividade	✓	↑ responsividade	✓
PV				↑ capacidade de customização em massa	
PV		↑ variedade do produto	✓		✓
PV/AC				↑ liberdade de <i>design</i>	✓
PV		↑ impacto ambiental	primeira	↓ impacto ambiental	✓
PV				↑ viabilidade de formatos complexos do produto	
PV/AC		↓ ciclo de vida do produto	✓		
PV				↑↓ qualidade do produto	pouco
PV/FR				↑ democratização da produção	primeira
PV				↓ peso do produto	pouco
PV/FR				↑ servitização	pouco
PV	↓ competitividade	↑ competitividade	✓		
PV		↓ tamanho do produto	✓		
PV/RL	↓ confiabilidade da empresa	↑ confiabilidade da empresa	✓		
PV		↑ valor do produto	✓		
AC		↓ eficiência da produção	primeira	↑ eficiência da produção	✓
AC/EC	↓ eficiência de inventário	↑ eficiência de inventário	✓		
AC		↑ complexidade da produção	inédita	↓ complexidade da produção	✓
AC				↑ flexibilidade de produção	✓
AC/RL				↑ digitalização do produto	✓
AC				↑ integração dos departamentos	✓
AC/RC/EC	↓ quantidade de trabalhadores/trabalho			↑ quantidade de trabalhadores/trabalho	✓
AC				↑ fluxo de informação	primeira
AC/EC				↑ apoio à manufatura enxuta	✓
AC/RC		↓ qualificação dos trabalhadores	✓	↑ qualificação dos trabalhadores	✓
AC		↑↓ controle da qualidade	✓		
RC		↓ saúde e segurança	primeira	↑ saúde e segurança	✓
PC		↑ descentralização da CS	✓		
PC		↑ dependência com o fornecedor	✓	↓ dependência com o fornecedor	✓
PC	↑ complexidade da CS			↓ complexidade da CS	✓
PC		↑ colaboração com o fornecedor	✓		
PC				↓ terceirização	✓
PC		↑ flexibilidade da CS	✓		
SC/FR		↑ vendas	✓		
RL		↑ interação com o cliente	✓		
CD/EC		↑ eficiência logística	✓		
EC				↑↓ custos	✓
EC		↓ risco do negócio	✓		
-				mudança de cultura	inédita

Legenda: PV - Proposição de valor; AC - Atividades-chave; RC - Recursos-chave; PC - Parceiros-chave; SC - Segmentos de cliente; CD - Canal de distribuição; RL - Relacionamento; ES - Estrutura de custos; e FR - Fonte de receitas.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 4.6 - Impactos da adoção da MA mais, menos e não identificados nas empresas α e β (continuação)

Blocos de construção do modelo de negócio Canvas	Empresa β				
	Impactos não identificados	Impactos menos citados	Literatura corrobora?	Impactos mais citados	Literatura corrobora com mais evidências empíricas?
PV		↓ responsividade	✓	↑ responsividade	✓
PV				↑ capacidade de customização em massa	✓
PV				↑ variedade do produto	✓
PV/AC				↑ liberdade de <i>design</i>	✓
PV		↑ impacto ambiental	primeira	↓ impacto ambiental	✓
PV				↑ viabilidade de formatos complexos do produto	✓
PV/AC				↓ ciclo de vida do produto	pouco
PV	↑↓ qualidade do produto			↑ democratização da produção	primeira
PV/FR				↓ peso do produto	pouco
PV				↑ servitização	pouco
PV/FR					
PV	↓ competitividade	↑ competitividade	✓		
PV		↓ tamanho do produto	✓		
PV/RL	↓ confiabilidade da empresa	↑ confiabilidade da empresa	✓		
PV		↑ valor do produto	✓		
AC	↓ eficiência da produção			↑ eficiência da produção	✓
AC/EC	↓ eficiência de inventário			↑ eficiência de inventário	✓
AC	↑ complexidade da produção			↓ complexidade da produção	✓
AC				↑ flexibilidade de produção	pouco
AC/RL	↑ digitalização do produto				
AC				↑ integração dos departamentos	pouco
AC/RC/EC	↑↓ quantidade de trabalhadores/trabalho			↑ fluxo de informação	primeira
AC					
AC/EC		↑ apoio à manufatura enxuta	✓		
AC/RC	↓ qualificação dos trabalhadores			↑ qualificação dos trabalhadores	pouco
AC		↑ controle da qualidade	✓	↓ controle da qualidade	pouco
RC		↑↓ saúde e segurança	✓ primeira		
PC		↑ descentralização da CS	✓		
PC				↑↓ dependência com o fornecedor	pouco
PC	↑ complexidade da CS	↓ complexidade da CS	✓		
PC				↑ colaboração com o fornecedor	pouco
PC		↓ terceirização	✓		
PC	↑ flexibilidade da CS				
SC/FR	↑ vendas				
RL	↑ interação com o cliente				
CD/EC		↑ eficiência logística	✓		
EC		↑ custos	✓	↓ custos	✓
EC		↓ risco do negócio	✓		
-	mudança de cultura				

Legenda: PV - Proposição de valor; AC - Atividades-chave; RC - Recursos-chave; PC - Parceiros-chave; SC - Segmentos de cliente; CD - Canal de distribuição; RL - Relacionamento; ES - Estrutura de custos; e FR - Fonte de receitas.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.3.3.1 Impactos da MA no Produto – Proposta de Valor

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Produto do modelo de negócio Canvas é composto pelo bloco de construção Proposta de valor. A partir dos resultados foi possível identificar 15 impactos da adoção da MA neste bloco de construção. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Proposta de valor, que foram mais, menos e não identificados nas empresas α e β . Na empresa α , os 10 impactos mais detectados foram: aumento da responsividade, aumento da qualidade do produto, aumento da viabilidade de formatos complexos do produto, redução da qualidade do produto, aumento democratização da produção, aumento da liberdade de *design*, redução do impacto ambiental, aumento da capacidade de customização em massa e redução do peso do produto. Na empresa β , os 10 impactos mais identificados foram: aumento da responsividade, redução do impacto ambiental, redução do ciclo de vida do produto, aumento da liberdade de *design*, aumento democratização da produção, aumento da viabilidade de formatos complexos do produto, redução do peso do produto, aumento da variedade do produto e aumento da capacidade de customização em massa.

A partir disso, verifica-se que, comparando as empresas, as duas apresentaram como principais impactos da adoção da MA o aumento da responsividade, redução do impacto ambiental, aumento da liberdade de *design*, aumento democratização da produção, aumento da viabilidade de formatos complexos do produto, aumento da capacidade de customização em massa e redução do peso do produto. Assim, percebe-se que há uma grande igualdade nas empresas em relação à maioria dos impactos da adoção da MA mais detectados. A literatura já havia evidenciado esses impactos, exceto a democratização da produção, a qual não havia evidências empíricas (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; HOOVER; LEE, 2015; MASHHADI; BEHDAD, 2017; RAYNA; STRIUKOVA, 2014), apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto. Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação ao impacto na democratização da produção.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Proposta de valor do modelo de negócio Canvas, que foram menos observados. Na empresa α , os impactos menos identificados foram: aumento da variedade do produto, aumento da competitividade, tamanho limitado do produto,

redução da responsividade, aumento do impacto ambiental, aumento da confiabilidade da empresa, redução do ciclo de vida do produto, aumento do valor do produto e mesma qualidade do produto. Um impacto da adoção da MA não foi detectado nesta empresa: redução da competitividade. Na empresa β , os impactos menos verificados foram: redução da responsividade, mesma qualidade do produto, aumento da competitividade, tamanho limitado do produto, aumento do valor do produto, aumento do impacto ambiental e aumento da confiabilidade da empresa. Três impactos da adoção da MA não foram identificados nesta empresa: redução da competitividade, e aumento e redução da qualidade do produto. Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas em relação à maioria dos impactos da adoção da MA menos identificados: aumento do impacto ambiental, aumento do ciclo de vida do produto, mesma qualidade do produto, aumento da competitividade, tamanho limitado do produto, aumento da confiabilidade da empresa, aumento do valor do produto e redução da responsividade. A literatura já havia evidenciado, em menor quantidade de artigos, esses impactos, exceto o aumento do impacto ambiental, o qual não havia evidências empíricas. Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação ao aumento do impacto ambiental com a adoção da MA, ou seja, desvantagens para as questões ambientais, sendo que na literatura isso ainda não tinha sido demonstrado. Alguns autores (CERDAS et al., 2017; HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; LI et al., 2017; WOODSON, 2015) apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto.

Na literatura identificou-se o impacto da adoção da MA na redução da confiabilidade da empresa (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; ROMEROTORRES; VIERA, 2016; WAGNER; WALTON, 2016) como sendo um impacto da adoção da MA, porém este não foi identificado nas empresas. Assim, nesta pesquisa verificou-se que a adoção da MA definitivamente aumenta a confiabilidade da empresa.

Observa-se que cinco impactos apresentaram diferentes direções (aumento e redução): impacto ambiental, qualidade do produto e responsividade. Com isso, percebe-se que há um intenso debate nas empresas sobre esses impactos da adoção da MA, esse debate também existe na literatura. É interessante ainda notar que, nas empresas, a adoção da MA pode produzir produtos com igual qualidade daqueles produzidos com manufatura tradicional, assim como também verificado na literatura (VINODH; SUNDARARAJ; DEVADASAN, 2009).

Nas empresas α e β , um impacto da adoção da MA não foi revelado: servitização. Com isso, em nenhum dos casos obteve-se evidência empírica sobre o impacto da adoção da MA na servitização das empresas.

4.3.3.2 Impactos da MA na Gestão de Infraestrutura

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Gestão de infraestrutura do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Atividades (AC), Recursos (RC) e Parceiros-chave (PC).

4.3.3.2.1 *Impactos da MA nas Atividades-chave*

A partir dos resultados foi possível identificar 13 impactos da adoção da MA neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Atividades-chave do modelo de negócio Canvas, que foram mais, menos e não identificados nas empresas α e β . Na empresa α , os dez impactos mais verificados foram: aumento integração dos departamentos, redução da complexidade da produção, aumento da eficiência da produção, aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho, aumento fluxo de informação, aumento da liberdade de *design* do produto, aumento da flexibilidade de produção, aumento da digitalização do produto, aumento do apoio à manufatura enxuta e aumento da qualificação do trabalhador. Na empresa β , os dez impactos mais detectados foram: aumento da eficiência da produção, redução da complexidade da produção, aumento da flexibilidade de produção, aumento da eficiência de inventário, redução do ciclo de vida do produto, aumento da liberdade de *design*, aumento integração dos departamentos, aumento da qualificação do trabalhador, aumento fluxo de informação e redução do controle da qualidade.

A partir disso, verifica-se que, comparando as empresas, as duas apresentaram como principais impactos da adoção da MA o aumento da integração entre os departamentos, o aumento da eficiência da produção, a redução da complexidade da produção, o aumento do fluxo de informação, o aumento da liberdade de *design*, o aumento da flexibilidade de produção e o aumento da qualificação do trabalhador. Assim, percebe-se que há uma grande igualdade nas empresas em relação à maioria dos

impactos da adoção da MA mais detectados. A literatura já havia evidenciado esses impactos, exceto o fluxo de informação, o qual não havia evidências empíricas. Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação ao aumento do fluxo de informação com a adoção da MA, sendo que na literatura isso ainda não tinha sido demonstrado. Alguns autores (GARRETT, 2014; MASHHADI; BEHDAD, 2017) apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Atividades-chave do modelo de negócio Canvas, que foram menos observados. Na empresa α , os impactos menos detectados foram: redução da eficiência de produção, aumento da eficiência de inventário, aumento do controle da qualidade, aumento da complexidade da produção, redução do ciclo de vida do produto, redução da qualificação do trabalhador e redução do controle da qualidade. Dois impactos da adoção da MA não foram identificados nesta empresa: redução da eficiência de inventário e redução da quantidade de trabalhadores/trabalho. Na empresa β , os impactos menos percebidos foram: aumento do controle da qualidade e aumento do apoio à manufatura enxuta. Oito impactos da adoção da MA não foram verificados nesta empresa: aumento da complexidade da produção, aumento da digitalização do produto, redução da eficiência de inventário, redução da eficiência de produção, redução da qualificação do trabalhador, e aumento e redução da quantidade de trabalhadores/trabalho.

Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos constatados. Apenas o aumento do controle da qualidade foi verificado em ambas as empresas. A literatura já havia evidenciado, em menor quantidade de artigos, esse impacto, o qual havia evidências empíricas.

O aumento da complexidade de produção foi identificado como um impacto da adoção da MA na empresa α , contudo não tinha sido identificado na literatura. A redução da eficiência de produção também foi detectada como um impacto da adoção da MA nesta empresa, mas não tinha evidências empíricas.

Observa-se que sete impactos apresentaram diferentes direções (aumento e redução): eficiência da produção, eficiência do inventário, complexidade da produção, quantidade de trabalhadores/trabalho, qualificação dos trabalhadores e controle da qualidade. Com isso, percebe-se que há um intenso debate sobre esses impactos da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura, excluindo complexidade da produção.

É importante lembrar que os impactos da adoção da MA na liberdade de *design* e no ciclo de vida do produto, incluídos neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas, foram também classificados na Proposta de valor, pelo painel de especialistas.

4.3.3.2 Impactos da MA nos Recursos-chave

A partir dos resultados foi possível identificar três impactos da adoção da MA neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Recursos-chave do modelo de negócio Canvas, que foram mais, menos e não comentados nas empresas α e β . Na empresa α , os três impactos mais verificados foram: aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho, aumento da qualificação dos trabalhadores e aumento da saúde e segurança. Na empresa β , o impacto mais verificado foi: aumento da qualificação dos trabalhadores. A partir disso, verifica-se que, houve pouca igualdade nas empresas em relação ao aumento da qualificação dos trabalhadores com a adoção da MA. A literatura já havia evidenciado esse impacto (HOLZMANN et al., 2017a; KIANIAN; TAVASSOLI; LARSSON, 2015; MURMURA; BRAVI, 2017; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016).

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Recursos-chave do modelo de negócio Canvas, que foram menos evidenciados, mesmo que seja pouco percebido tem sua importância, uma vez que revela nuances da MA. Na empresa α , os impactos menos percebidos foram: redução da saúde e segurança e redução da qualificação do trabalhador. Um impacto da adoção da MA não foi identificado nesta empresa: redução da quantidade de trabalhadores/trabalho. Na empresa β , dois impactos foram menos verificados: aumento e redução da saúde e segurança. Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados. A redução da saúde e segurança foi menos constatados nas duas empresas e pelos profissionais, conforme também com o que foi encontrado na literatura (GARRETT, 2014; NIAKI; NONINO, 2017). Contudo, esta pesquisa traz evidências empíricas em relação ao impacto no aumento da saúde e segurança, sendo que na literatura ainda não tinha sido evidenciado empiricamente. Apenas um Garret (2014) trouxe discussões conceituais sobre esse impacto.

Observa-se que os três impactos, qualificação dos trabalhadores, quantidade de trabalhadores/trabalho, e saúde e segurança, apresentaram diferentes direções (aumento e redução). Com isso, percebe-se que há um intenso debate nas empresas sobre esses impactos da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura.

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA na qualificação do trabalhador e na quantidade de trabalhadores/trabalho incluídos neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas, foram também classificados nas Atividades-chave, pelo painel de especialistas.

4.3.3.2.3 *Impactos da MA nos Parceiros-chave*

Na empresa α , os impactos mais detectados foram: redução da dependência com o fornecedor, redução da complexidade da CS e redução da terceirização. Na empresa β , os impactos mais identificados foram: aumento da dependência com o fornecedor, aumento da colaboração com o fornecedor e redução da dependência com o fornecedor. A dependência com o fornecedor com a adoção da MA apresentou as duas nuances de impactos (aumento/diminuição). A literatura já havia evidenciado estes possíveis classes de impactos (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014).

Na empresa α , os impactos menos verificados foram: aumento da dependência com os fornecedores, aumento da flexibilidade da CS, aumento da descentralização da CS e aumento da colaboração com os fornecedores. Dois impactos da adoção da MA não foram citados nesta empresa: aumento da complexidade da CS. Na empresa β , os impactos menos identificados foram: redução da terceirização, aumento da descentralização da CS e redução da complexidade da CS. Três impactos da adoção da MA não foram detectados nesta empresa: aumento da complexidade da CS e aumento da flexibilidade da CS. Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados: aumento da descentralização da CS e aumento da complexidade da CS. A literatura já havia evidenciado, em menos artigos, o impacto aumento da descentralização da CS (CHEN, 2017a; HOLZMANN et al., 2017a; KNOFIUS; VAN DER HEIJDEN; ZIJM, 2016; OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; WAGNER; WALTON, 2016). O aumento da complexidade da CS não foi identificado nos casos e nem empiricamente na literatura.

Observa-se que um impacto apresentou diferentes direções (aumento e redução): dependência com o fornecedor. Com isso, percebe-se que há um intenso debate nas empresas sobre esse impacto da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura.

4.3.3.3 Impactos da MA na Interface com o Cliente

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Interface com o cliente do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Segmento de clientes (SC), Relacionamento (RL) e Canal de distribuição (CD).

4.3.3.3.1 *Impactos da MA no Segmento de clientes*

A partir dos resultados foi possível identificar um impacto da adoção da MA no bloco de construção Segmento de clientes do modelo de negócio Canvas: aumento das vendas. Foi possível verificar que este impacto da adoção da MA foi menos citado nas empresas, em comparação a outros impactos. Na empresa α , um dos entrevistados afirmou que a adoção da MA aumenta as vendas e, em outro momento, que não tem impacto nas vendas da empresa (= venda). Na empresa β , não foi citado o impacto da adoção da MA nas vendas. É interessante ainda notar que, na visão das empresas, a adoção da MA não tem impacto nas vendas e isso não foi visto na literatura.

4.3.3.3.2 *Impactos da MA no Relacionamento*

A partir dos resultados foi possível identificar três impactos da adoção da MA neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Relacionamento do modelo de negócio Canvas, que foram mais, menos e não verificados nas empresas α e β . Na empresa α , um impacto mais percebido foi o aumento da digitalização do produto. Na empresa β , não houve impacto mais neste bloco de construção. A partir disso, verifica-se que não há uma igualdade entre os profissionais e nas empresas em relação aos impactos da adoção da MA mais detectados.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Relacionamento do modelo de negócio Canvas, que foram menos percebidos. Na empresa α , dois impactos foram menos constatados: aumento da confiabilidade da empresa e aumento da interação com o cliente. Na empresa β , um impacto foi menos revelado: aumento da confiabilidade da empresa. Dois impactos não foram identificados nesta empresa: aumento da digitalização do produto e aumento da interação com o cliente.

Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas em relação à um impacto da adoção da MA menos observado: aumento da confiabilidade da empresa. Este impacto já havia sido evidenciado na literatura (CHEN, 2017a).

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA na confiabilidade e na digitalização do produto, incluídos neste bloco de construção, foram também classificados na Proposta de valor e Atividades-chave, respectivamente, pelo painel de especialistas. Dessa forma, já foram discutidos anteriormente.

4.3.3.3 Impactos da MA no Canal de distribuição

A partir dos resultados foi possível identificar um impacto da adoção da MA no bloco de construção Canal de distribuição do modelo de negócio Canvas: aumento da eficiência logística. Foi possível verificar que este impacto da adoção da MA foi menos constatado nas empresas α e β , que os outros impactos e a literatura já o havia estudado (EMELOGU et al., 2016; EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016).

4.3.3.4 Impactos da MA nos Aspectos Financeiros

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Aspectos financeiros do modelo de negócio Canvas é composto pelos blocos de construção Estrutura de custos (EC) e Fonte de receitas (FR).

4.3.3.4.1 *Impactos da MA na Estrutura de custos*

A partir dos resultados foi possível identificar seis impactos da adoção da MA no bloco de construção Estrutura de custos do modelo de negócio Canvas. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas, que foram mais, menos e não constatados nas empresas α e β . Na empresa α , 4 impactos foram mais revelados: redução de custos, aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho, aumento de custos e aumento do apoio à manufatura enxuta. Na empresa β , dois impactos foram mais percebidos: redução de custos e aumento da eficiência de inventário. A partir disso, percebe-se que houve pouca igualdade nas empresas em relação aos impactos da adoção da MA mais revelado. Apenas a redução de custos foi verificada nas duas empresas, este impacto já foi amplamente discutido na literatura.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Estrutura de custos do modelo de negócio Canvas, que foram menos identificados. Na empresa α , três impactos foram menos revelados: aumento da eficiência de inventário, aumento da eficiência de logística e redução do risco do negócio. Dois impactos da adoção da MA não foram citados nesta empresa: redução da eficiência do inventário e redução da quantidade de trabalhadores/trabalho. Na empresa β , quatro impactos foram menos detectados: redução do risco do negócio, aumento do custo, aumento da eficiência logística e aumento do apoio à manufatura enxuta. Três impactos da adoção da MA não foram constatados nesta empresa: redução da eficiência do inventário, aumento e redução da quantidade de trabalhadores/trabalho. Assim, percebe-se que, em relação ao impacto da adoção da MA menos percebidos, há um aumento da eficiência logística (EMELOGU et al., 2016; EYERS; POTTER, 2015; FORD; DESPEISSE, 2016; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016) e redução do risco do negócio (CHAN et al., 2017; DESPEISSE et al., 2017a; KHAJAVI et al., 2018a; MUIR; HADDUD, 2018), assim como já verificado na literatura.

Observa-se que um impacto apresentou diferentes direções (aumento e redução): custos. Com isso, percebe-se que há um intenso debate nas empresas sobre esse impacto da adoção da MA, assim como na literatura. É interessante ainda notar que, nas empresas, a adoção da MA apresenta impacto nos custos, diferentemente do que foi constatado na literatura. Em um artigo os autores (RYAN; SCHWERDTFEGER;

RODERMANN, 2016) afirmam conceitualmente que a MA não apresenta impacto nos custos da empresa.

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA no apoio à manufatura enxuta, eficiência do inventário, eficiência logística e quantidade de trabalhadores/trabalho, incluídos neste bloco de construção, foram também classificados na Atividades-chave e Canal de distribuição, pelo painel de especialistas.

4.3.3.4.2 *Impactos da MA na Fonte de receitas*

A partir dos resultados foi possível identificar três impactos da adoção da MA neste bloco de construção do modelo de negócio Canvas. Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Fonte de receitas do modelo de negócio Canvas, que foram mais, menos e não detectados nas empresas α e β . Na empresa α , um impacto mais identificado foi o aumento da democratização da produção. Na empresa β , um impacto foi mais revelado: aumento da democratização da produção. A partir disso, verifica-se que há uma igualdade entre nas empresas em relação à um impacto da adoção da MA mais citados: democratização da produção. Este impacto não havia sido evidenciado empiricamente na literatura.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Fonte de receitas do modelo de negócio Canvas, que foram menos percebidos nas empresas. Na empresa α , um impacto foi menos verificado: aumento das vendas. Percebe-se que, na empresa α , há um debate em relação ao impacto da adoção da MA nas vendas. Na empresa α , um impacto da adoção da MA não foi revelado: vendas. Na empresa β , dois impactos da adoção da MA não foram revelados: servitização e vendas.

É importante lembrar que todos os impactos da adoção da MA incluídos neste bloco de construção, foram também classificados na Proposta de valor e Segmentos de clientes, pelo painel de especialistas. Dessa forma, já foram discutidos anteriormente.

4.3.3.5 Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas

De forma geral, os resultados dos impactos da adoção da MA foram agrupados nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas: Produto - Proposta de

valor; Gestão de infraestrutura - Atividades, Recursos e Parceiros-chave; Interação com o cliente - Segmentos de clientes, Relacionamento e Canal de distribuição; e Aspectos financeiros - Estrutura de custos e Fonte de receita (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010).

Com isso, foi possível verificar que pela classificação dos impactos da adoção da MA nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas, há uma convergência dos resultados das empresas. Nas empresas α e β apresentaram a mesma sequência de blocos mais identificados: Proposta de valor, Atividades-chave, Estrutura de custos, Parceiros-chave, Recursos-chave, Fonte de receitas, Relacionamento, Canal de distribuição e, por fim, Segmento de clientes. Houve apenas uma pequena diferença entre os blocos de construção Fonte de receitas e Recursos-chave.

Percebe-se que os pilares mais impactados pela adoção da MA são primeiramente Produto, em seguida, Gestão de infraestrutura e, por fim, Estrutura de custos. O pilar Interface com o cliente apresentou menos impactos da adoção da MA. Dessa forma, os impactos nos blocos de construção Relacionamento, Canal de distribuição e Segmento de clientes, não são amplamente percebidos empiricamente e também na literatura. Assim, pode-se concluir que a adoção da MA apresenta pouco efeito com relação aos clientes das empresas.

4.3.3.6 Motivações e Limitações para a Adoção da MA

As motivações e limitações foram categorizadas baseadas na teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e na Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*) (SCHNIEDERJANS, 2017). Essas classificações já foram explicadas na RSL. As categorias de motivações consideradas pela teoria *DOI* e *UTAUT* foram: Vantagem relativa e Expectativa de desempenho; Compatibilidade e Condições facilitadoras; Redução de Complexidade e da Expectativa de esforço; Observabilidade e Visibilidade; Vontade de Testar; e Influência social.

A partir dos resultados foi possível identificar as categorias que apresentaram motivações para a adoção da MA e que foram mais, menos e não percebidas nas empresas α e β . Na empresa α , quatro categorias de motivações foram mais identificadas: vantagem relativa/expectativa de desempenho, compatibilidade/condições

facilitadoras, observabilidade/visibilidade e vontade de testar. Na empresa β , três categorias de motivações foram mais identificadas: vantagem relativa/expectativa de desempenho, compatibilidade/condições facilitadoras, vontade de testar e redução de complexidade/expectativa de esforço. Verifica-se que, nas empresas, as categorias de motivações mais citadas foram: vantagem relativa/expectativa de desempenho, compatibilidade/condições facilitadoras e vontade de testar. Assim, percebe-se que uma inicial motivação da adoção da MA é principalmente a vontade de testar e aprender as oportunidades que a tecnologia pode trazer para a empresa, e adquirir experiência no uso da tecnologia. Essa uma motivação foi pouco mencionada na literatura (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017). Depois, as vantagens da utilização da impressora, as quais são oriundas dos impactos discutidos nas seções anteriores, são os principais motivadores da adoção da MA. Isto já havia sido amplamente discutido e evidenciado na literatura. Para as empresas, além das vantagens que a adoção da tecnologia traz, a compatibilidade com a cultura da empresa de investir em novas tecnologias, por exemplo, é um motivador forte. Na literatura, identificou-se essa categoria de motivações como sendo um importante motivador para a adoção da MA (HOLZMANN et al., 2017a; OETTMEIER; HOFMANN, 2017; RYLANDS et al., 2016; SCHNIEDERJANS, 2017; WAGNER; WALTON, 2016).

Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação à todas as motivações, sendo que poucas tinham sido encontradas na literatura. Apenas dois estudos (OETTMEIER; HOFMANN, 2016; SCHNIEDERJANS, 2017) traziam evidências empíricas em todas as categorias de motivações para a adoção da MA.

Foi possível verificar também as motivações para a adoção da MA, que foram menos detectadas nas empresas. Na empresa α , as categorias de motivações menos evidenciadas foram a redução de complexidade/expectativa de esforço e a influência social. Na empresa β , duas categorias de motivações foram menos identificadas: observabilidade / visibilidade e influência social. Assim, percebe-se que há uma igualdade nas empresas, que a influência social é um motivador da adoção da MA, porém menos importante. A influência de agentes externos, como fornecedores e clientes, são impulsionadores da adoção da MA, assim como visto na literatura (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; RYLANDS et al., 2016; SCHNIEDERJANS, 2017; WAGNER; WALTON, 2016).

Referente às limitações, as categorias consideradas pela teoria *DOI* e *UTAUT* foram: Falta de Vantagem relativa e Expectativa de desempenho; Incompatibilidade e

Falta de Condições facilitadoras; Aumento da complexidade e Expectativa de esforço; Falta de Observabilidade e Visibilidade, Falta de Vontade de Testar; e Falta de Influência social.

A partir dos resultados foi possível identificar as categorias que apresentaram limitações para a adoção da MA e que foram mais, menos e não percebidas nas empresas α e β . Na empresa α , duas categorias de limitações foram mais verificadas: Falta de Vantagem relativa/Expectativa de desempenho e Aumento da Complexidade / Expectativa de esforço. Na empresa β , três categorias de limitações foram mais constatadas: Falta de Vantagem relativa/Expectativa de desempenho; Incompatibilidade / Falta de Condições facilitadoras; e Falta de Influência social. Verifica-se que, nas duas empresas, a categoria de limitações Falta de Vantagem relativa/Expectativa de desempenho foi a mais importante. Esta está relacionada com as desvantagens da utilização da MA, as quais são oriundas dos impactos discutidos nas seções anteriores. A falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho já tinha sido mostrada amplamente com evidências empíricas na literatura.

Foi possível verificar também as limitações para a adoção da MA, que foram menos constatadas. Na empresa α , a Falta de Influência social foi um limitante pouco identificado. As categorias Incompatibilidade / Falta de Condições facilitadoras; Falta de Vontade de Teste; e Falta de Observabilidade / Visibilidade não foram percebidas como uma barreira para a adoção da MA nesta empresa. Na empresa β , duas categorias de limitações foram menos percebidas: Aumento da Complexidade / Expectativa de esforço e Falta de Vontade de Testar. A categoria Falta de Observabilidade / Visibilidade não foi uma barreira para a adoção da MA nesta empresa.

A influência social, a qual envolve questões legais e de certificação, como também relações com os clientes e fornecedores, são limitantes encontrados empiricamente. A falta de influência social já tinha sido mostrada com evidências empíricas na literatura.

A última categoria de limitações constatada na empresa β , Falta de Vontade de Testar, a qual é uma novidade na literatura. Esta relaciona-se com o desejo da empresa de experimentar a tecnologia e ver possíveis aplicações seus processos. Isso foi percebido no início da implementação da MA. Esta é uma limitação para a adoção da MA que eles enfrentam, muitas vezes, por não ter a proatividade de experimentar e estudar como a tecnologia poderia ser implantada nos processos das empresas. Esta

limitação não havia sido identificada na literatura, tanto conceitualmente quanto empiricamente.

Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação às limitações, sendo que nenhum estudo abrangeu todas as categorias de limitações citadas neste estudo. Apenas alguns estudos (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; FORD; DESPEISSE, 2016; MATIAS; RAO, 2015; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NIAKI; NONINO, 2017; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016) trouxeram evidências empíricas sobre as limitações para a adoção da MA, separadamente. Por exemplo, Murmura e Bravi (2017) apresentaram evidências empíricas de limitações apenas na categoria Falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho.

4.3.4 Entrevistas com Profissionais

As semelhanças entre os resultados do estudo de caso múltiplo (empresas α e β) e da entrevista com os profissionais são percorridas nesta seção. Inicialmente, apresenta-se os impactos da MA no modelo de negócio, em seguida, faz-se um resumo desses impactos nas categorias do modelo de negócio Canvas e por fim, as motivações e limitações para a adoção da MA são discutidas. São percorridos, então, os resultados que corroboram com o estudo de caso múltiplo.

4.3.4.1 Impactos da MA no Modelo de Negócio

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Produto do modelo de negócio Canvas é composto pelo bloco de construção Proposta de valor. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, os impactos mais citados neste bloco de construção e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento da responsividade, aumento da capacidade de customização em massa, aumento da variedade do produto, aumento da liberdade de *design*, redução do impacto ambiental, aumento da viabilidade de formatos mais complexos, redução do ciclo de vida do produto e aumento da democratização da produção. Os impactos mais

citados e que corroboram com os resultados apenas da empresa α são: aumento e redução da qualidade do produto.

Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação à maioria dos impactos da adoção da MA mais citados. A literatura já havia amplamente evidenciado esses impactos, excluindo a democratização da produção. Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação ao impacto na democratização da produção, sendo que na literatura ainda não tinha sido encontrado. Alguns autores (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; HOOVER; LEE, 2015; MASHHADI; BEHDAD, 2017; RAYNA; STRIUKOVA, 2014) apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Proposta de valor do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados nas entrevistas com profissionais e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento do impacto ambiental, mesma qualidade do produto, redução do peso do produto, aumento da competitividade, tamanho limitado do produto, aumento da confiabilidade da empresa e aumento do valor do produto. Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação à maioria dos impactos da adoção da MA menos citados. A literatura já havia evidenciado, em menor quantidade de artigos, esses impactos, excluindo o aumento do impacto ambiental. É interessante ainda notar que, na visão de alguns profissionais e nas empresas, a adoção da MA pode produzir produtos com igual qualidade daqueles fabricados com manufatura tradicional, assim como também verificado na literatura (VINODH; SUNDARARAJ; DEVADASAN, 2009).

Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação ao aumento do impacto ambiental com a adoção da MA, sendo que na literatura isso ainda não tinha sido encontrado. Alguns autores (CERDAS et al., 2017; HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; LI et al., 2017; WOODSON, 2015) apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto.

Assim, como nas empresas, observa-se que, quatro impactos apresentaram diferentes direções (aumento e redução): competitividade, impacto ambiental, qualidade do produto e responsividade. Com isso, percebe-se que há um intenso debate pelos profissionais e nas empresas sobre esses impactos da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura.

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Gestão de infraestrutura é composto pelos blocos de construção Atividades (AC), Recursos (RC) e Parceiros-chave (PC). Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Atividades-chave do modelo de negócio Canvas, que foram mais e menos comentados pelos profissionais.

A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, os impactos mais citados neste bloco de construção e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento da eficiência da produção, aumento da eficiência de inventário, redução da complexidade da produção, aumento da flexibilidade de produção, aumento da qualificação do trabalhador, aumento da liberdade de *design* e redução do ciclo de vida do produto. O impacto mais citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento da digitalização do produto.

Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA mais citados. A literatura já havia amplamente evidenciado apenas os impactos no aumento da eficiência da produção e na redução da complexidade da produção. Assim, esta pesquisa traz muitas evidências empíricas para impactos da adoção da MA que a literatura pouco trouxe. Esses impactos são: aumento da eficiência de inventário, aumento da flexibilidade da produção, aumento da digitalização do produto, aumento da liberdade de *design*, redução do ciclo de vida do produto e aumento da qualificação dos trabalhadores.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Atividades-chave do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento da integração dos departamentos, aumento do fluxo de informação, aumento do apoio à manufatura enxuta, e aumento e redução do controle da qualidade. O impacto menos citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento da complexidade da produção e aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho.

Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados. A literatura já havia evidenciado esses impactos, em menos artigos, excluindo fluxo e informação. Assim, esta pesquisa traz evidências empíricas em relação ao impacto no aumento de fluxo de informação, sendo que na literatura este ainda não tinha sido encontrado empiricamente. Alguns autores (GARRETT, 2014; MASHHADI; BEHDAD, 2017) apenas traziam discussões

conceituais sobre esse impacto. Pelos dados empíricos, o aumento da complexidade de produção foi identificado como impactos da adoção da MA, contudo não tinha sido identificado na literatura conceitual e empírica.

Observa-se que cinco impactos apresentaram diferentes direções (aumento e redução): eficiência do inventário, complexidade da produção, quantidade de trabalhadores/trabalho, qualificação dos trabalhadores e controle da qualidade. Com isso, percebe-se que há um intenso debate sobre esses impactos da adoção da MA também pelos profissionais. Esse debate também existe na literatura, excluindo complexidade da produção.

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA na liberdade de *design* e no ciclo de vida do produto, incluídos neste bloco de construção, estão também classificados na Proposta de valor.

A partir dos resultados foi possível identificar os impactos da adoção da MA bloco de construção Recursos-chave do modelo de negócio Canvas que foram mais e menos comentados pelos profissionais. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, o impacto mais citado neste bloco de construção e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas é o aumento qualificação dos trabalhadores.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Recursos-chave do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento e redução da saúde e segurança. O impacto menos citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho e redução da qualificação do trabalhador.

Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados. O aumento e a redução da saúde e segurança foram menos citados nas duas empresas e pelos profissionais, conforme também com o que foi encontrado na literatura (GARRETT, 2014; NIAKI; NONINO, 2017). Contudo, esta pesquisa traz evidências empíricas em relação ao impacto na redução da saúde e segurança, sendo que na literatura este ainda não tinha sido encontrado empiricamente. Um autor (GARRETT, 2014) apenas trouxe discussões conceituais sobre esse impacto.

Observa-se que os três impactos, qualificação dos trabalhadores, quantidade de trabalhadores/trabalho e saúde e segurança, apresentaram diferentes direções (aumento e

redução). Com isso, percebe-se que há um intenso debate entre os profissionais e as empresas sobre esses impactos da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura.

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA na qualificação do trabalhador e na quantidade de trabalhadores/trabalho incluídos neste bloco de construção, estão também classificados nas Atividades-chave.

Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Parceiros-chave do modelo de negócio Canvas, que foram mais e menos comentados pelos profissionais. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, o impacto mais citado neste bloco de construção e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas é o aumento da descentralização da cadeia de suprimentos (CS). A partir disso, verifica-se que houve uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA mais citados. Esta pesquisa traz muitas evidências empíricas para este impacto adoção da MA na descentralização da CS que a literatura pouco trouxe.

Foi possível verificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Recursos-chave do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas são: aumento e redução da dependência com os fornecedores, redução da complexidade da CS, aumento da colaboração com os fornecedores, redução da dependência com os fornecedores e redução da terceirização. O impacto menos citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento da flexibilidade da CS.

Assim, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados. A literatura já havia evidenciado, em menos artigos, esses impactos.

Observa-se que um impacto apresenta diferentes direções (aumento e redução): dependência com o fornecedor. Com isso, percebe-se que há um intenso debate entre os profissionais e as empresas sobre este impacto da adoção da MA, assim como visto na literatura.

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Interface com o cliente é composto pelos blocos de construção Segmento de clientes (SC), Relacionamento (RL) e Canal de distribuição (CD). A partir dos resultados foi possível identificar um impacto da adoção da MA bloco de construção Segmentos de clientes do modelo de negócio Canvas que foi menos comentado pelos profissionais e que corrobora com o resultado

apenas da empresa α : aumento das vendas. É interessante ainda notar que, na visão de alguns profissionais e nesta empresa, a adoção da MA não tem impacto nas vendas e isso não foi identificado na literatura.

Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Relacionamento do modelo de negócio Canvas, que foram mais e menos comentados pelos profissionais. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, o impacto mais citado neste bloco de construção e que corrobora com os resultados apenas da empresa α : aumento da interação com o cliente e aumento da digitalização do produto. A partir disso, verifica-se que há uma igualdade entre os profissionais e nesta empresa em relação aos impactos da adoção da MA mais citados. Assim, foi possível verificar que esta pesquisa traz muitas evidências empíricas para o impacto aumento da digitalização que a literatura pouco trouxe.

Foi possível verificar também o impacto da adoção da MA no bloco de construção Relacionamento do modelo de negócio Canvas, que foi menos citado nas entrevistas com profissionais e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas é o aumento da confiabilidade. Dessa forma, percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação a este impacto da adoção da MA menos citado. É importante lembrar que o impacto da adoção da MA na confiabilidade e na digitalização do produto, incluídos neste bloco de construção, são também classificados na Proposta de valor e Atividades-chave, respectivamente, portanto, já foram discutidos anteriormente.

Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Canal de distribuição do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados pelos profissionais e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas é a eficiência logística. Este já havia sido encontrado na literatura com menos evidências empíricas.

De acordo com Osterwalder e Pigneur (2010) o pilar Aspectos financeiros é composto pelos blocos de construção Estrutura de custos (EC) e Fonte de receitas (FR). Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Estrutura de custos do modelo de negócio Canvas que foram mais e menos citados pelos profissionais. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, os impactos mais citados neste bloco de construção e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas foram: aumento e redução de custos e aumento da eficiência de inventário.

Foi possível identificar também os impactos da adoção da MA no bloco de construção Estrutura de custos do modelo de negócio Canvas, que foram menos citados nas entrevistas com profissionais e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas. Este foram: redução do risco do negócio, aumento do apoio à manufatura enxuta e aumento da eficiência logística. O impacto menos citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho. Percebe-se que há uma igualdade entre os profissionais e as empresas em relação aos impactos da adoção da MA menos citados. Esta pesquisa traz mais evidências empíricas para os impactos da adoção da MA que a literatura pouco trouxe (aumento da eficiência de inventário, aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho, aumento do apoio à manufatura enxuta, redução do risco de negócio e aumento da eficiência logística).

Observa-se que um impacto apresenta diferentes direções (aumento e redução): custos. Com isso, percebe-se que há um intenso debate entre os profissionais e as empresas sobre esse impacto da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura. É interessante ainda notar que, na visão de alguns profissionais e nas empresas, a adoção da MA apresenta impacto nos custos, diferentemente do que foi constatado na literatura. Em um artigo os autores (RYAN; SCHWERDTFEGER; RODERMANN, 2016) afirmam conceitualmente que a MA não apresenta impacto nos custos da empresa.

É importante lembrar que o impacto da adoção da MA no apoio à manufatura enxuta, eficiência do inventário, eficiência logística e quantidade de trabalhadores/trabalho, incluídos neste bloco de construção, estão também classificados na Atividades-chave e Canal de distribuição.

Foi possível verificar os impactos da adoção da MA no bloco de construção Fontes de receita do modelo de negócio Canvas que foram mais e menos citados pelos profissionais. A partir dos resultados das entrevistas com profissionais, o impacto mais citado neste bloco de construção e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas foi o aumento da democratização da produção. Foi possível verificar que esta pesquisa traz muitas evidências empíricas para este impacto da adoção da MA que a literatura pouco trouxe.

Foi possível identificar também o impacto da adoção da MA no bloco de construção Fontes de receita do modelo de negócio Canvas, que foi menos citado e que corrobora com os resultados apenas da empresa α é o aumento das vendas.

É importante lembrar que todos os impactos da adoção da MA incluídos neste bloco de construção, estão também classificados na Proposta de valor e Segmentos de clientes. Dessa forma, já foram discutidos anteriormente.

4.3.4.2 Resumo dos Impactos da MA no Modelo de Negócio Canvas

De forma geral, os resultados dos impactos da adoção da MA foram agrupados nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas: Produto - Proposta de valor; Gestão de infraestrutura - Atividades, Recursos e Parceiros-chave; Interação com o cliente - Segmentos de clientes, Relacionamento e Canal de distribuição; e Aspectos financeiros - Estrutura de custos e Fonte de receita (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010).

Com isso, foi possível verificar que pela classificação dos impactos da adoção da MA nos blocos de construção do modelo de negócio Canvas que há uma convergência dos resultados dos profissionais e das empresas. Principalmente os profissionais e a empresa α apresentaram a mesma sequência de blocos mais para menos identificados: Proposta de valor, Atividades-chave, Estrutura de custos, Parceiros-chave, Recursos-chave, Fonte de receitas, Relacionamento, Canal de distribuição e, por fim, Segmento de clientes. A empresa β apresentou uma pequena diferença entre as frequências dos blocos de construção Fonte de receitas e Recursos-chave.

Percebe-se que os pilares mais impactados pela adoção da MA são: Produto, Gestão de infraestrutura e Estrutura de custos. O pilar Interface com o cliente, nas entrevistas com os profissionais, também apresentou menos impactos da adoção da MA. Dessa forma, os impactos nos blocos de construção Relacionamento, Canal de distribuição e Segmento de clientes, não são amplamente percebidos empiricamente e também na literatura. A adoção da MA apresentou pouco impacto na relação com os clientes.

4.3.4.3 Motivações e Limitações para a Adoção da MA

As motivações e limitações foram categorizadas baseadas na teoria da Difusão de Inovações (*Diffusion of Innovations - DOI*) e na Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*)

(SCHNIEDERJANS, 2017). Essas classificações já foram explicadas na RSL. As categorias de motivações consideradas pela teoria *DOI* e *UTAUT* foram: Vantagem relativa e Expectativa de desempenho; Compatibilidade e Condições facilitadoras; Redução de Complexidade e da Expectativa de esforço; Observabilidade e Visibilidade; Vontade de Testar; e Influência social.

A partir dos resultados foi possível identificar as categorias que apresentaram motivações para a adoção da MA e que foram mais e menos comentadas pelos profissionais.

Nas entrevistas com profissionais, uma categoria de motivação foi mais citada e que corrobora com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas: vantagem relativa/expectativa de desempenho. Assim, percebe-se que as vantagens da utilização da impressora, as quais são oriundas dos impactos discutidos na seção 4.3.3, são os principais motivadores da adoção da MA.

Foi possível verificar também as motivações para a adoção da MA, que foram menos citadas nas entrevistas com profissionais e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas: vontade de testar, observabilidade / visibilidade, influência social e redução de complexidade/expectativa de esforço. Na literatura, identificou-se a categoria de motivações Compatibilidade / Condições facilitadoras (HOLZMANN et al., 2017a; OETTMEIER; HOFMANN, 2017; RYLANDS et al., 2016; SCHNIEDERJANS, 2017; WAGNER; WALTON, 2016) como sendo um importante motivador para a adoção da MA. Esta categoria de motivações foi verificada nos casos como importante influenciadora da implementação da MA, porém pelos profissionais, a cultura de aberturas a novas tecnologias ou profissionais qualificados, por exemplo, não são percebidos.

Identificou-se uma motivação pouco mencionada na literatura, que é a Vontade de Testar (OETTMEIER; HOFMANN, 2017; SCHNIEDERJANS, 2017). Pelos profissionais e nas empresas, ficou claro que o motivador inicial para a adoção da MA é o desejo de aprendizado e aquisição de experiência sobre a tecnologia.

As categorias de limitações consideradas pela teoria *DOI* e *UTAUT* foram: Falta de Vantagem relativa e Expectativa de desempenho; Incompatibilidade e Falta de Condições facilitadoras; Aumento da complexidade e Expectativa de esforço; Falta de Observabilidade e Visibilidade, Falta de Vontade de Testar; e Falta de Influência social.

A partir dos resultados foi possível identificar as categorias que apresentaram limitações para a adoção da MA e que foram mais, menos e não comentados pelos

profissionais. Nas entrevistas com profissionais, três categorias de limitações foram mais citadas e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas: falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho, incompatibilidade / falta de condições facilitadoras e falta de influência social. Percebe-se que a Falta de Vantagem relativa/Expectativa de desempenho está relacionada com as desvantagens da utilização da MA, as quais são oriundas dos impactos discutidos na seção 4.3.3. Identificou-se uma outra limitação que não foi identificada na literatura que é a necessidade de uma base para a impressão. Esta limitação está relacionada à categoria falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho foi citada por alguns profissionais. Esta torna-se uma limitação, pois com a base muitas vezes faz-se necessário um pós-processamento para conseguir retirá-la da peça.

Além disso, a influência social, a qual envolve questões legais e de certificação, como também relações com os clientes e fornecedores, são limitantes encontrados empiricamente. Nesta categoria duas novas limitações foram evidenciadas, a falta de comunicação e a imagem errada da tecnologia por parte dos clientes. Os dados mostram que a falta de comunicação com os clientes e também com os fornecedores é uma limitação da adoção da MA. Além disso, a imagem da MA que muitos clientes têm é um limitante, já que muitos acreditam que as peças impressas têm baixa qualidade.

A falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho e falta de influência social já tinham sido encontradas amplamente com evidências empíricas na literatura.

Foi possível verificar também as limitações para a adoção da MA, que foram menos citada e que corroboram com os resultados do estudo de caso múltiplo das duas empresas: Falta de Observabilidade / Visibilidade e Aumento da Complexidade / Expectativa de esforço. A Falta de Vontade de Testar não foi mencionada nas entrevistas com profissionais.

Esta pesquisa traz, então, evidências empíricas em relação às limitações, sendo que nenhum estudo abrangeu todas as categorias de limitações citadas neste estudo. Apenas alguns estudos (DURACH; KURPJUWEIT; WAGNER, 2017; DWIVEDI; SRIVASTAVA; SRIVASTAVA, 2017; FORD; DESPEISSE, 2016; MATIAS; RAO, 2015; MELLOR; HAO; ZHANG, 2014; NIAKI; NONINO, 2017; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; TATHAM; LOY; PERETTI, 2015; WAGNER; WALTON, 2016) trouxeram evidências empíricas sobre as limitações para a adoção da MA, separadamente. Por exemplo, Murmura e Bravi (2017) apresentaram evidências

empíricas de limitações nas categorias Falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho e Incompatibilidade/Falta de condições facilitadoras.

4.4 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS E PROPOSIÇÕES

Muitas discussões trazidas a partir do estudo de caso múltiplo e das entrevistas com profissionais já tinham sido identificadas na literatura. Este tópico concentra-se nas contribuições da pesquisa, como o que foi verificado na prática e não foi visto na literatura. Também será discutido o que a literatura apresentou e não foi visto empiricamente. Assim, foi possível traçar as proposições finais da presente pesquisa. Dessa forma, as proposições foram elaboradas com base na verificação empírica dos apontamentos conceituais delineados pela literatura, ou seja, os resultados da pesquisa revelaram evidências empíricas de aspectos somente tratados no nível conceitual. Ademais, foram elaboradas também proposições acerca de evidências inéditas do impacto da MA nos modelos de negócios.

4.4.1 Primeiras Evidências Empíricas a Respeito dos Impactos da MA no Modelo de Negócio

Esta pesquisa traz algumas contribuições para a literatura. Alguns impactos da adoção da MA não tinham sido evidenciados empiricamente, como o aumento da democratização, aumento do fluxo de informação, aumento do impacto ambiental, aumento da saúde e segurança. Além disso, as contribuições referentes às limitações para a adoção da MA também são discutidas. Estas são discutidas separadamente a seguir.

4.4.1.1 Democratização da Produção

Nesta pesquisa conseguiu-se identificar evidências empíricas do aumento da democratização da produção com a adoção da MA, o qual tinha sido apenas discutido conceitualmente na literatura (BOGERS; HADAR; BILBERG, 2016; HOOVER; LEE,

2015; MASHHADI; BEHDAD, 2017; RAYNA; STRIUKOVA, 2016). Assim, a pesquisa traz evidências para esse impacto.

O aumento da democratização da produção, foi verificado *in loco* na empresa α , pois na visita verificou-se que as impressoras 3D estão localizadas no meio da produção, essa foi uma estratégia proposta por um dos entrevistados “eu tento falar para todas as empresas que vem visitar a gente, tira as máquinas da engenharia e coloca na oficina [produção], onde todo mundo vê” e “as máquinas [estão] ao alcance de todos os funcionários”. Os funcionários não podem imprimir sem pedir permissão e sem o engenheiro, mas como as impressoras estão visíveis a todos, torna-se mais viável o acesso à eles, do que se estivessem na sala da engenharia, “Decidi tirá-las do piso da engenharia e as coloquei no piso do chão de fábrica, em uma sala de vidro, onde todos podem vê-las e acessá-las. As máquinas não são da engenharia, são da fábrica.”.

O outro entrevistado desta empresa enfatiza que a utilização da MA iniciou em um setor (reparo) apenas e agora está expandindo para outros “o acesso para empresa como um todo, [...] está começando a abrir o leque agora.” e “você vê que os clientes vão aumentando sim, os clientes internos, dos diversos setores.”. Assim, está tecnologia é democrática no sentido que consegue atuar em setores de uma empresa, inclusive em outras plantas da mesma empresa.

Na empresa β também ficou evidente essa democratização, pois houve um aumento na procura de outros departamentos como, manutenção, qualidade, outras fabricações, querendo ver a possibilidade de imprimir peças. Considerando os clientes internos da MA, estes foram expandidos ao longo do tempo. Percebe-se isso até pela expansão da própria aplicação da MA dentro desta empresa, que antes era apenas para prototipagem e hoje já envolve a fabricação de peças finais componentes da aeronave. Assim, antes apenas os setores de P&D e engenharia eram os clientes da prototipagem feita pela impressora, e hoje a montagem também é um cliente, aumentando a democratização da utilização da tecnologia de MA dentro da empresa. Para os entrevistados, se o investimento justificar, qualquer departamento da empresa pode também adquirir uma impressora e, se treinado e qualificado para isso, pode começar a fabricar conforme a sua necessidade.

A entrevista com profissionais trouxeram mais evidências, um deles afirma que a MA pode ser realizada por pessoas que não tem experiência com a tecnologia “Não preciso fazer uma faculdade para saber desenvolver um projeto, produto, essa democratização se aplica a até nesse ponto do início da vida profissional de cada um.”.

Outros profissionais lembram que a tecnologia está disponível a todos hoje em dia, e as pessoas podem baixar projetos gratuitamente para imprimir, conhecido como movimento “*Maker*”. Ou ainda, você pode mandar imprimir em algum “*Hub*” perto da sua casa, caso não tenha uma impressora. Um profissional inclusive destaca que ele mesmo não esperava hoje estar produzindo industrialmente com a MA. Isso aconteceu ao longo do tempo e com a aquisição de experiência com a tecnologia “a nossa empresa não é exatamente uma indústria, mas hoje a gente fabrica peças profissionalmente é uma empresa de engenharia com registro pelo CREA”.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P1: A adoção da MA aumenta a democratização da produção.

4.4.1.2 Fluxo de Informação

Nesta pesquisa conseguiu-se identificar evidências empíricas do aumento do fluxo de informação, o qual tinha sido apenas discutido conceitualmente na literatura (GARRETT, 2014; MASHHADI; BEHDAD, 2017). Assim, a pesquisa traz evidências para esse impacto com a adoção da MA.

O aumento do fluxo de informação, foi verificado na empresa α , pois segundo o entrevistado, antes da adoção da MA “a gente não dava oportunidade do [operador] da oficina [...] de projeto para os problemas dele ou forma de registrar esses projetos.”. Após a adoção da MA, foram aumentadas a frequência de reuniões (*Action work out - AWO*) para tratar os problemas que podem ser solucionados com a MA. Essas reuniões têm ocorrido em mais áreas dentro da empresa, com uma maior troca de informações, sendo que não acontecia antes da MA. Para ele os operadores “[...] se acostumaram a passar todo tipo de sugestões para os engenheiros.”. Além disso, o outro entrevistado relata que hoje está tendo contato com pessoas de outros setores, em que não tinha trabalhado junto, “A gente nunca tinha feito *action workout* no setor de projeto e já fizemos basicamente dois.”.

Na empresa β houve um aumento na procura de outros departamentos como, manutenção, qualidade, outras fabricações, querendo ver a possibilidade de imprimir peças. Para isso, foi necessário um trabalho mais em conjunto com esses departamentos e maior troca de informações. Os entrevistados relataram que foi necessário um trabalho mais em conjunto entre os departamentos de P&D e engenharia, principalmente no

início da adoção da MA. Já que o departamento de P&D já utilizava a MA para prototipagem e, com isso, tinha conhecimento da tecnologia.

Três profissionais também concordaram com esse impacto da adoção da MA no aumento do fluxo de informação, por exemplo entre os departamentos de engenharia e *marketing*. Além disso, eles lembram que há a digitalização das peças, estas podem ser compartilhadas digitalmente por todos os departamentos da empresa, aumentando, assim, a troca de dados.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P2: A adoção da MA intensifica o fluxo de informação.

4.4.1.3 Impacto Ambiental

A redução do impacto ambiental com a adoção da MA já foi discutida na literatura amplamente (DESPEISSE et al., 2017a; EYERS; POTTER, 2015; FLORES ITUARTE et al., 2016b; FORD; DESPEISSE, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; JIA et al., 2016; LIN; CHEN; CHIU, 2014; MONTES, 2016; NIAKI; NONINO, 2017; OETTMEIER; HOFMANN, 2016; SHOUCHE et al., 2016). Porém, nesta pesquisa conseguiu-se identificar evidências empíricas do aumento do impacto ambiental, o qual tinha sido apenas discutido conceitualmente na literatura (CERDAS et al., 2017; HOLMSTRÖM; GUTOWSKI, 2017; LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; LI et al., 2017; WOODSON, 2015). Assim, a pesquisa traz evidências para esse debate.

O aumento do impacto ambiental com a adoção da MA, foi verificado *in loco* na empresa α , pois na visita verificou-se que as peças impressas sem qualidade são descartadas no lixo comum. Um entrevistado dessa empresa confirmou essa questão: “Acredito que na hora do descarte, eu não sei como é feito, a gente simplesmente coloca no lixo.” e “a gente acaba jogando fora a peça no lixo comum.”. Isso acontece também para peças impressas que quebram durante o uso e nas que não funcionaram. Sendo assim, a empresa não recicla ou encaminha para reciclagem esses resíduos, os quais não são biodegradáveis. As empresas optam por utilizar os materiais não biodegradáveis por questões de resistências das peças impressas. As peças impressas com materiais não biodegradáveis são mais resistentes.

Alguns profissionais discorrem que não há uma cadeia de reciclagem desses polímeros das peças impressas. Isso é um problema da cadeia de reciclagem de

polímeros em geral e não apenas dos utilizados na MA. Muitos polímeros perdem suas propriedades mecânicas e químicas após a reciclagem, assim não podem ser reutilizados nos mesmos processos.

Outra questão relacionada ao aumento do impacto ambiental é a emissão de gases que a MA libera ao fundir o polímero. Assim, quanto maior a quantidade de peças impressas, maior é a liberação desses gases e, nas empresas, não foram encontradas ações para reduzir isso. Além disso, conforme apontado por um dos entrevistados da empresa α , há aumento do consumo de energia na empresa, pois o “ar condicionado fica ligado 24 horas quando as impressoras estão imprimindo”. Um profissional entrevistado destacou que a MA de metais consome uma alta taxa de energia para conseguir fundir esse material.

Outro destaque de um dos profissionais é que a MA gera resíduos no pós-processamento das peças, isso também deve ser levado em consideração. Como destiná-los corretamente para não gerar impactos, isso ainda não é feito nas empresas.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P3: A adoção da MA aumenta o impacto ambiental das empresas.

4.4.1.4 Saúde e Segurança

A redução da saúde e segurança com a adoção da MA já foi discutida na literatura (NIAKI; NONINO, 2017). Porém, nesta pesquisa conseguiu-se identificar evidências empíricas do aumento da saúde e segurança, a qual tinha sido discutida conceitualmente na literatura (GARRETT, 2014). Assim, a pesquisa traz evidências para esse debate sobre esse impacto da adoção da MA.

Nas empresas α e β , verificou-se que a MA ajuda indiretamente a saúde e segurança dos trabalhadores. Com a MA, é possível imprimir gabaritos e ferramentais mais leves, os quais melhoram a ergonomia dos operadores.

Na empresa α , um entrevistado explica ainda que a MA eliminou a necessidade de mascaramento de algumas peças do motor da aeronave em manutenção. Com a MA, é possível imprimir máscaras que encaixam perfeitamente nestas peças e, após isso, consegue-se passar para o processo de jateamento. Assim, como ele relata “Com a manufatura aditiva, a gente consegue ter mascaramentos, que dificulta muito o [operador] ter contato com óxido de carbono [...] e antes ele tinha que colocar a mão lá

dentro. [...] Não tem muito contato com o processo.”. A adoção da MA reduziu a exposição dos funcionários ao óxido de carbono oriundo do processo de jateamento, aumentando a saúde e segurança dos operários.

Relacionado ao processo de MA diretamente, conforme afirma um entrevistado da empresa β , há a necessidade de menor precaução para garantir a saúde e segurança das pessoas envolvidas no processo de MA, pois há menos atuação/exposição das pessoas. Porém, alguns cuidados devem ser tomados, principalmente em relação ao contato com as peças impressas que podem estar quentes logo após a impressão.

Para os profissionais entrevistados, o perigo de manipulação da impressora é bem menor, se comparado a uma injetora, por exemplo.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P4: A adoção da MA impacta positivamente a saúde e segurança dos trabalhadores.

4.4.2 Resultados Inéditos para a Literatura a Respeito da Adoção MA no Modelo de Negócio

Algumas evidências empíricas são inéditas para a literatura como o impacto da adoção da MA no aumento da complexidade da produção, na mudança de cultura e suas limitações. Estes são discutidos separadamente a seguir.

4.4.2.1 Complexidade da Produção

A redução da complexidade da produção com a adoção da MA já foi discutida na literatura amplamente (CHAN et al., 2017; CHEN, 2017a; DESPEISSE et al., 2017a; FORD; DESPEISSE, 2016; HÄMÄLÄINEN; OJALA, 2015; LIN; CHEN; CHIU, 2014; MONTES, 2016; MURMURA; BRAVI, 2017; NIAKI; NONINO, 2017; STEENHUIS; PRETORIUS, 2016; WAGNER; WALTON, 2016). Porém, nesta pesquisa conseguiu-se identificar evidências empíricas do aumento da complexidade da produção, o qual não tinha sido discutido conceitualmente na literatura. Assim, a pesquisa traz evidências para esse debate sobre esse impacto da adoção da MA.

Na empresa α , um dos entrevistados afirma que uma dificuldade da fabricação de peças com a MA é “o material negativo [...]. Quando você faz uma peça e ela tem

uma área oca, por exemplo, aquilo também é preenchido com material que tem que sair. Alguns materiais você consegue tirar no tanque, outros ele tem que tirar na mão, com espátula.”, isso está relacionado ao pós-processamento das peças impressas.

Os profissionais também identificam o pós-processamento como um complicador da MA, para um deles “a impressão 3d, que é o processo mais curto”. Outro profissional destaca também a fase do projeto da peça um processo complexo da MA, para ele mesmo utilizando o escaneamento automático “depois que você escaneia um monte de pontos, estes pontos tem que ser tratados, para que você consiga chegar no modelo final para você utilizar seja para impressão, ou qualquer outro processo.” e “A manufatura aditiva é um processo que tem muitos parâmetros, e considerando isso, tem que ter um conhecimento muito grande. Ainda mais, quando a gente fala industrial[mente].”.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P5: A adoção da MA torna mais complexo o processo de produção.

4.4.2.2 Mudança de Cultura

Um impacto muito percebido na empresa α (20 vezes), pouco na empresa β (4 vezes) e citado por um profissional (3 vezes) foi a mudança na cultura. Na empresa α essa mudança ocorreu fortemente, segundo os entrevistados, pois os profissionais tiveram que mudar a forma de pensar e agir. Antes os projetos dos ferramentais, gabaritos e dispositivos eram enviados ao Fornecedor da ferramentaria para serem fabricados. Hoje, com a MA, antes de enviar para a ferramentaria, eles analisam a possibilidade de impressão das peças. Muitas vezes apenas testam essa possibilidade, imprimindo as peças e analisando antes de enviar para o fornecedor fabricar. Isso agiliza o processo de manutenção dos motores das aeronaves, já que pela ferramentaria levaria em torno de seis meses para a peça ficar pronta.

Além disso, foi relatado que algumas peças, após esse tempo de fabricação, vinham erradas, pois tinham erros no projeto. E só com a peça pronta era possível ver esses erros. A MA ajudou nisso, uma vez que é possível imprimir e testar as peças antes de enviar para a o fornecedor fabricar.

Também foi comentado que a partir da adoção da MA, começaram a ser realizadas reuniões em estações de trabalhos da produção, com o intuito de discutir as

possibilidades da MA dentro daquela área. Isso foi percebido por um entrevistado da empresa α “antes a gente não tinha essa Cultura, vamos verificar os problemas das áreas, [...] a gente desenvolveu essa Cultura”. Essa cultura de reuniões e compartilhamento de ideias foi desenvolvido dentro da empresa depois da adoção da MA. Segundo ainda este entrevistado, “As pessoas mudaram a percepção e teve uma mudança de *mindset*”. Esta mudança está ocorrendo em toda a empresa, não apenas para os engenheiros e projetistas que trabalham diretamente com a tecnologia. Quando um operador identifica um problema na sua área, este já considera que a MA pode ajudar na solução, “ele começa a pensar diferente”. Assim, a MA gerou uma sinergia entre as áreas (“sinergia que essa máquina gerou”) na solução de problemas. Para o outro entrevistado desta empresa, como consequência o departamento de projeto recebe “até três novas ideias por semana” e “a tendência é aumentar ainda mais os *insights*”.

Na empresa β também “Está ocorrendo a mudança cultural de ver a MA como uma solução de produção, antes era solução apenas para prototipagem, hoje tem-se a visão de MA para produção.”. A MA foi incluída então no Desenvolvimento integrado do produto (DIP) da empresa.

Na visão de um profissional também há “a parte de mudança de jeito de pensar, filosofia, dos engenheiros e *designers* de incluírem a MA.”. Contudo, “Essa mudança de filosofia, mudar a cabeça, demora um pouco para entender.”

Dessa forma, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P6: A adoção da manufatura aditiva leva à uma mudança de cultura da empresa.

4.4.2.3 Limitações para a adoção da MA

As limitações para a adoção da MA já foram discutidas na literatura. Porém, nesta pesquisa conseguiu-se identificar algumas novas evidências empíricas das limitações, as quais não tinham sido identificadas na literatura. Assim, a pesquisa traz evidências das limitações para a adoção da MA.

A categoria de limitação falta de observabilidade/visibilidade não foi verificada conceitualmente e empiricamente na literatura. Contudo, essa limitação foi muito importante nos resultados empíricos desta pesquisa, principalmente na empresa α e para os profissionais. Com a ampla utilização da tecnologia de MA atualmente, está havendo uma divulgação errada da qualidade das peças impressas. Um dos profissionais

argumentam que a MA “muitas vezes entregando uma imagem do processo [MA], que realmente não é [...]. Está denegrindo um pouco, em alguns casos.”. Outro profissional reforça que está tendo “muito serviço ruim sendo ofertado e isso acaba traumatizando alguns clientes.”.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P7a: Uma limitação para a adoção da MA é a imagem errada da tecnologia.

Outra categoria mais citada foi a Falta de Vontade de Testar. Esta é uma limitação para a adoção da MA que elas enfrentam, muitas vezes, os profissionais não têm a proatividade de querer experimentar e estudar como a tecnologia poderia ser implantada nos processos das empresas. Um profissional observou que está é uma limitação “inicialmente, mas ao longo do tempo e os resultados quebraram essa barreira.”, assim os bons resultados que a tecnologia traz, consegue eliminar essa limitação. Esta limitação não havia sido identificada na literatura, tanto conceitualmente quanto empiricamente.

Com isso, pôde-se traçar a seguinte proposição de pesquisa:

P7b: Uma limitação para a adoção da MA é a falta de vontade de testar.

4.5 CONCLUSÕES E FUTURAS PESQUISAS

O objetivo deste estudo foi explorar os impactos, motivações e limitações da adoção da manufatura aditiva no modelo de negócio das empresas. Portanto, algumas conclusões e futuras linhas de pesquisa relacionadas às questões de pesquisa puderam ser mostradas a partir desta pesquisa. Este estudo pode servir como um guia para pesquisadores e gestores para desenvolver ainda mais a pesquisa e a prática da MA.

A partir das evidências, foi possível concluir que estudos ainda são necessários em vários tópicos dos impactos da adoção da MA no modelo de negócios Canvas. Observando os impactos do ponto de vista da MA, podemos notar que alguns impactos são bem conhecidos na literatura e foram também muito evidenciados empiricamente. Este é o caso do impacto da adoção da MA sobre: aumento da responsividade, aumento da capacidade de customização em massa, aumento da liberdade de *design*, redução do impacto ambiental, aumento da viabilidade de formatos complexos do produto, aumento da eficiência da produção, redução da complexidade da produção.

Esta pesquisa traz muitas evidências empíricas para impactos da adoção da MA que a literatura pouco trouxe. Esses impactos são: aumento do apoio à manufatura enxuta, aumento da colaboração com fornecedores, aumento da complexidade da CS, aumento do controle de qualidade, aumento da descentralização da CS, aumento da digitalização do produto, aumento da interação com o cliente, aumento da flexibilidade da produção, aumento do fluxo de informação, aumento da integração dos departamentos, aumento da qualificação dos trabalhadores, aumento da quantidade de trabalhadores/trabalho, aumento e redução da dependência com o fornecedor e redução do ciclo de vida do produto.

Esta pesquisa traz evidências empíricas em relação ao impacto no aumento da complexidade da CS, aumento do impacto ambiental, aumento da democratização da produção, aumento do fluxo de informação, aumento da saúde e segurança, sendo que na literatura estes ainda não tinham sido encontrados empiricamente. Alguns autores apenas traziam discussões conceituais sobre esse impacto.

Alguns impactos foram identificados apenas através dos dados empíricos e nem tinham sido citados na literatura conceitualmente, estes são: aumento do ciclo de vida do produto, aumento da complexidade da produção, aumento da terceirização e aumento da eficiência logística. Estes encontram-se em negrito na figura. Além disso, um outro impacto identificado empiricamente e que não havia sido citado na literatura foi a mudança de cultura. O impacto da adoção da MA na cultura das empresas foi destaque na empresa α . Este impacto encontra ilustrado separadamente na figura já que não foi classificada nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas, pelo painel de especialistas.

Outros impactos também foram identificados na literatura, mas menos do que os mencionados anteriormente e, também, apresentaram poucas evidências empíricas a partir das entrevistas com profissionais e do estudo de caso múltiplo. Este é o caso do impacto da adoção na MA no: mesma qualidade do produto, aumento da competitividade, tamanho limitado do produto, aumento da confiabilidade e aumento do valor do produto e redução do risco do negócio. Então, estes são importantes campos de estudo ainda pouco explorados.

Na literatura, identificou-se o impacto da adoção da MA na redução da confiabilidade da empresa (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016; WAGNER; WALTON, 2016) como sendo um impacto da

adoção da MA, porém este não foi identificado pelos profissionais e nas empresas. Para eles a adoção da MA definitivamente aumenta a confiabilidade da empresa.

Também é interessante notar que há um intenso debate sobre alguns impactos. Esse é o caso do ciclo de vida do produto, complexidade da CS, complexidade da produção, competitividade, custos, dependência com o fornecedor, eficiência de inventário, eficiência logística, impacto ambiental, qualidade do produto, qualificação dos trabalhadores, quantidade de trabalhadores/trabalho, responsividade, risco do negócio, saúde e segurança e terceirização. Com isso, percebe-se que há um intenso debate pelos profissionais e nas empresas sobre esses impactos da adoção da MA. Esse debate também existe na literatura, excluindo ciclo de vida do produto, complexidade da produção, eficiência logística, risco do negócio e terceirização.

É interessante ainda notar que, na visão de alguns profissionais e nas empresas, a adoção da MA pode produzir produtos com igual qualidade daqueles produzidos com manufatura tradicional, assim como também verificado na literatura. Para eles, a adoção da MA não tem impacto nas vendas e isso não foi visto na literatura. E, além disso, para eles, a adoção da MA apresenta impacto nos custos, diferentemente do que foi constatado na literatura. Em um artigo os autores (RYAN; SCHWERDTFEGER; RODERMANN, 2016) afirmam conceitualmente que a MA não apresenta impacto nos custos da empresa.

Vista do ponto de vista do modelo de negócios Canvas, todos os pilares e blocos de construção (Proposta de valor do produto; gestão de infraestrutura - principais recursos, principais atividades e principais parceiros; interface com o cliente - segmento de clientes, canal de distribuição e relacionamento; e aspectos financeiros - custo estrutura e fontes de receita) englobaram a maioria dos impactos da adoção da MA, excluindo a mudança de cultura.

Principalmente os profissionais e a empresa α apresentaram a mesma sequência de blocos com maior frequência (ordem decrescente): Proposta de valor, atividades-chave, estrutura de custos, parceiros-chave, recursos-chave, fonte de receitas, relacionamento, Canal de distribuição e, por fim, segmento de clientes. A empresa β apresentou uma pequena diferença entre as frequências dos blocos de construção fonte de receitas e recursos-chave.

Ainda há debate sobre o impacto da adoção da MA nos quatro grandes pilares do modelo de negócio Canvas. Alguns blocos de construção apresentaram mais impactos da adoção da MA, como atividades-chave e proposta de valor, assim como na literatura.

Outros tiveram menos impactos da adoção da MA, como canal de distribuição e segmento de cliente. Assim, a MA teve menos impacto nesses blocos de construção.

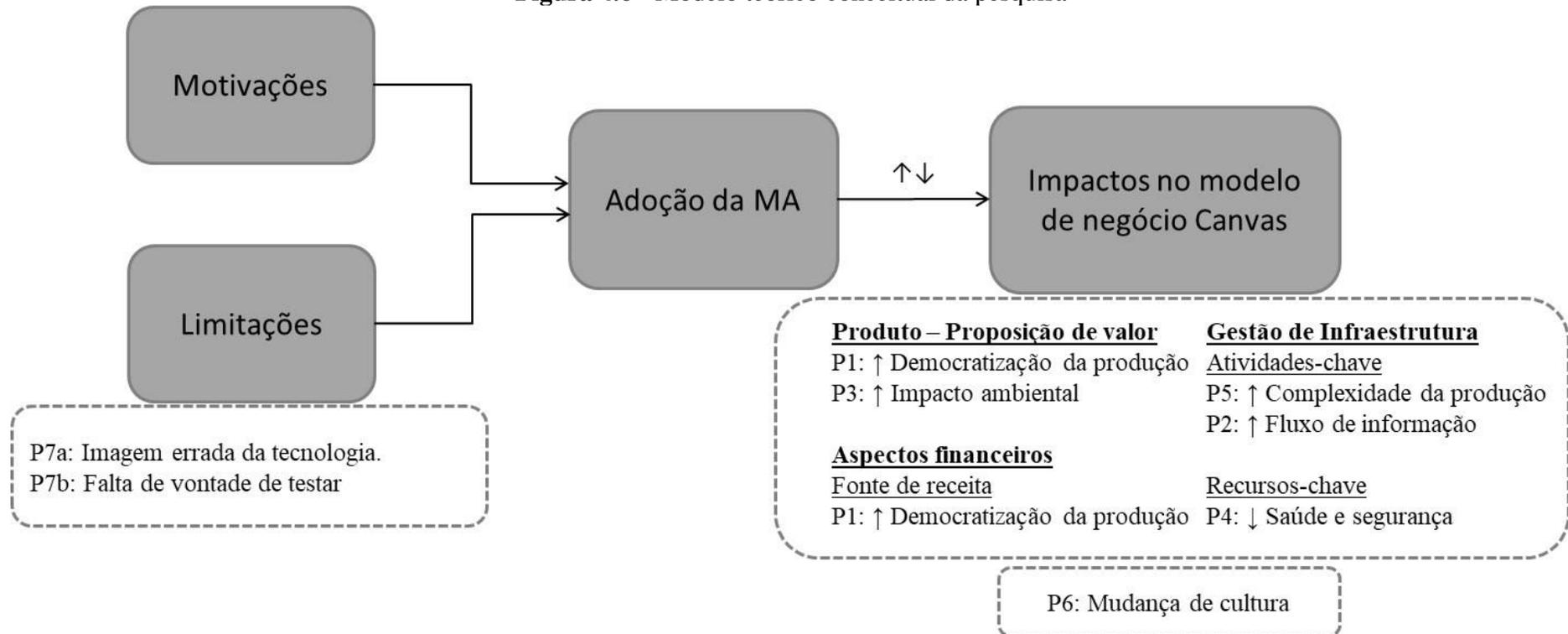
Percebe-se, assim, que os pilares mais impactados pela adoção da MA são: Produto, Gestão de infraestrutura e Estrutura de custos. O pilar Interface com o cliente apresentou menos impactos da adoção da MA. Dessa forma, os impactos nos blocos de construção relacionamento, canal de distribuição e segmento de clientes, não são amplamente percebidos empiricamente e também na literatura, portanto pesquisas futuras podem se concentrar nessas áreas.

Finalmente, em relação às motivações e limitações para a adoção da MA, pôde-se verificar que as categorias de motivações mais consideradas pelos profissionais e nas empresas foram: vantagem relativa/expectativa de desempenho, redução de complexidade/expectativa de esforço, observabilidade/visibilidade, e influência social. A Compatibilidade/Condições facilitadoras e a Vontade de Testar são pouco influenciadoras da adoção da MA.

Pôde-se verificar que as categorias de limitações mais consideradas pelos profissionais e nas empresas foram: falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho, falta de observabilidade/visibilidade, Falta de Vontade de Testar e Falta de Influência social. A incompatibilidade/falta de condições facilitadoras e aumento da complexidade/expectativa de esforço são limitantes da adoção da MA pouco percebidos. Essa pesquisa trouxe importantes avanços em relação à Falta de Observabilidade/Visibilidade e Falta de Vontade de Testar, já que não tinham sido encontrados estudos sobre essas limitações.

Como resultado, na Figura 4.6 são ilustradas as categorias que formam a estrutura do modelo teórico conceitual da pesquisa, o qual captura a essência da pesquisa e foi refinado a partir das evidências empíricas. É apresentado uma visão geral das categorias dos constructos e seus relacionamentos que levam às proposições finais de pesquisa. O Quadro 4.7 traz a descrição das proposições da presente pesquisa.

Figura 4.6 - Modelo teórico conceitual da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 4.7 – Proposições da pesquisa

Proposições
P1: A adoção da MA aumenta a democratização da produção.
P2: A adoção da MA intensifica o fluxo de informação.
P3: A adoção da MA aumenta o impacto ambiental das empresas.
P4: A adoção da MA impacta negativamente a saúde e segurança dos trabalhadores.
P5: A adoção da MA torna mais complexo o processo de produção.
P6: A adoção da manufatura aditiva leva à uma mudança de cultura da empresa.
P7a: Uma limitação para a adoção da MA é a imagem errada da tecnologia.
P7b: Uma limitação para a adoção da MA é a falta de vontade de testar.

Fonte: Dados da pesquisa.

Como este estudo é de natureza exploratória, há várias limitações dos resultados encontrados que não podem ser generalizados, mas devem ser vistos como descobertas iniciais que podem gerar ideias para futuras pesquisas. Embora haja pouca pesquisa sobre o assunto, estas futuras pesquisas podem investigar se os impactos da adoção da MA estão relacionados ao tipo de impressora e à aplicação da MA (por exemplo, prototipagem, ferramental ou produtos finais). Isso abre novos caminhos para pesquisa com um escopo ampliado. Além disso, correlacionar a informação com as percepções da vários elos da cadeia de suprimentos poderia trazer resultados interessantes. Outra linha de pesquisa potencial poderia ser o estudo de impressoras 3D separadamente para fins comerciais e domésticos. Isso também ajudaria a aumentar ainda mais a compreensão dessa tecnologia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Manufatura Aditiva é uma tecnologia que vem sendo aplicada pelas empresas mundialmente no contexto da Indústria 4.0. A literatura a respeito desse tema cresce cada vez mais ao longo dos anos, contudo um estudo que abordasse amplamente os impactos da adoção dessa tecnologia no modelo de negócio ainda não tinha sido realizado. Selecionou-se o *framework* de modelo de negócio Canvas para delinear a pesquisa.

Para corroborar com a literatura, este estudo teve como objetivo explorar os impactos da MA no modelo de negócio, assim como suas motivações e limitações. Para isso, foi realizada primeiramente uma revisão sistemática da literatura a fim de detectar os constructos (impactos, motivações e limitações) da pesquisa. Em seguida, foi realizada um painel de especialista para classificar os impactos da adoção da MA nos pilares e blocos de construção do modelo de negócio Canvas e, assim, traçou-se o modelo teórico conceitual preliminar da pesquisa.

A partir dos resultados da RSL e painel de especialistas, conduziu-se um estudo de caso múltiplo com duas empresas do setor aeronáutico e também entrevistas com profissionais da área de MA. Dessa forma, pôde-se explorar empiricamente os constructos da pesquisa. Com a análise dos resultados, os impactos, motivações e limitações que foram primeiramente evidenciados empiricamente foram mostrados, assim como algumas novidades que não tinham sido detectadas na literatura. Além também de mais evidências empíricas para o campo de estudo, suma vez que alguns pontos tinham sido pouco demonstrados na literatura. Por fim, proposições de pesquisa foram sugeridas.

Portanto, para futuras pesquisa recomenda-se avaliar as proposições apresentadas com o objetivo de entender melhor esses impactos da adoção da MA, assim como suas motivações e limitações. Com isso, será possível criar estratégias de implementação para mitigar os impactos negativos e as limitações e potencializar os impactos positivos e as motivações. Além de promover maior conhecimento sobre o assunto, a fim de disseminar o uso da MA, de forma que as empresas e a população se beneficiem com os resultados da adoção da MA, no âmbito da quarta revolução industrial.

REFERÊNCIAS

- 3D HUBS. **3D Printing Trends Q1/2019 - Industry highlights and market forecasts Including a special on 3D printing in Automotive**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://f.3dhubs.com/tpeFNMnNBD83pKJYnSHpne.pdf>>.
- 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**, v. 37, n. Part 1, p. 328–339, out. 2015.
- AHUJA, B.; KARG, M.; SCHMIDT, M. **Additive manufacturing in production: challenges and opportunities**. SPIE - Laser 3D Manufacturing II. **Anais...**San Francisco, USA: 2015
- AL-DEBEI, M. M.; AVISON, D. Developing a unified framework of the business model concept. **European Journal of Information Systems**, v. 19, n. 3, p. 359–376, 2010.
- ALMADA-LOBO, F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES) Cyber-physical Systems. **Journal of Innovation Management**, v. 4, p. 16–21, 2015.
- AMIT, R.; ZOTT, C. Value creation in e-business. **Strategic Management Journal**, v. 22, p. 493–520, 2001.
- ARASTI, M.; KHALEGHI, M.; NOORI, J. Corporate-level technology strategy and its linkage with corporate strategy in multi-business companies: IKCO case study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 122, n. 2017, p. 243–252, 2017.
- ASTM. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**. [s.l.] American Society for Testing and Materials - ASTM, 2013.
- 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.
- AUERBACH, C. F.; SILVERSTEIN, L. B. **Qualitative Data: An Introduction to Coding and Analysis**. New York: New York University Press, 2003.
- BARNEY, J.; WRIGHT, M.; KETCHEN, D. J. The resource-based view of the firm: Ten years after 1991. **Journal of Management**, v. 27, n. 6, p. 625–641, 2001.
- BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329–342, 2011.
- BARRINGER, B. R.; IRELAND, R. D. **Entrepreneurship : Successfully launching new ventures**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.
- BARRON, S. et al. **Systems-Based Cyber Security in the Supply Chain**. IEEE Systems and Information Engineering Design Conference (SIEDS). **Anais...**2016
- BAUMERS, M. et al. Transparency Built-in: Energy Consumption and Cost Estimation for Additive. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 3, p. 418–431, 2013.
- BEN-NER, A.; SIEMSEN, E. Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing (3D Printing). **California Management Review**, v. 59, n. 2, p. 5–23, 2017.
- BENBASAT, I.; GOLDSTEIN, D. K.; MEAD, M. The Case Research Strategy in Studies of Information Systems. **MIS Quarterly**, v. 11, n. September, p. 369–386, 1987.
- BENDUL, J. C.; BLUNCK, H. The design space of production planning and control for industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 105, n. 2019, p. 260–272, 2019.
- BERMAN, B. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business Horizons**, v. 55, n. 2, p. 155–162, 2012.
- BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. **Produção**, v. 9, n. 2, p. 65–75,

2000.

BHATTACHARJYA, J. et al. Additive Manufacturing: Current Status and Future Prospects. **Working Conference on Virtual Enterprises**, p. 365–372, 2014.

BOCKEN, N. M. P. et al. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 42–56, 2014.

BOGERS, M.; HADAR, R.; BILBERG, A. Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 225–239, 2016.

BOGNER, A.; LITTIG, B.; MENZ, W. **Interviewing Experts: Methodology and Practice**. Basingstoke, UK.: Palgrave Macmillan, 2009.

BOKRANTZ, J. et al. Maintenance in digitalised manufacturing: Delphi-based scenarios for 2030. **International Journal of Production Economics**, v. 191, n. April, p. 154–169, 2017.

BONAZZI, F. L. Z.; ZILBER, M. A. Inovação e modelo de negócio: Um estudo de caso sobre a integração do funil de inovação e o modelo canvas. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, v. 16, n. 53, p. 616–637, 2014.

BOONS, F.; LÜDEKE-FREUND, F. Business models for sustainable innovation: State-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, n. 2013, p. 9–19, 2013.

BRAAKSMA, A. J. J.; KLINGENBERG, W.; VELDMAN, J. Failure mode and effect analysis in asset maintenance: A multiple case study in the process industry. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 4, p. 1055–1071, 2013.

BRAUN, VIRGINIA; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013.

BRYMAN, A. Qualitative research on leadership: A critical but appreciative review. **Leadership Quarterly**, v. 15, n. 6, p. 729–769, 2004.

BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 2018.

BURKHART, M.; AURICH, J. C. Framework to predict the environmental impact of additive manufacturing in the life cycle of a commercial vehicle. **22nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering**, v. 29, p. 408–413, 2015.

BUSACHI, A. et al. **Defining Next-Generation Additive Manufacturing Applications for the Ministry of Defence (MoD)**. 5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production. **Anais...The Author(s)**, 2016

CALDERA, H. T. S.; DESHA, C.; DAWES, L. Evaluating the enablers and barriers for successful implementation of sustainable business practice in ‘lean’ SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 218, p. 575–590, 2019.

CAMPBELL, I.; BOURELL, D.; GIBSON, I. Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. **Rapid Prototyping Journal**, v. 18, n. 4, p. 255–258, 2012.

CERDAS, F. et al. Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. S80–S93, 2017.

CHAN, H. K. et al. **Impact of 3d Printing Technology on Supply Chain in China**. 24th International Conference on Production Research (ICPR). **Anais...2017**

CHEKUROV, S.; SALMI, M. **Additive Manufacturing in Offsite Repair of Consumer Electronics**. Physics Procedia. **Anais...2017**

CHEN, Z. The Influence of 3D Printing on Global Container Multimodal Transport System. **Complexity**, v. 2017, 2017a.

CHEN, Z. **The Service-oriented Manufacturing Mode based on 3D printing: A Case of Personalized Toy**. 13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM. **Anais...The Author(s)**, 2017bDisponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.278>>

- CHIU, M.-C.; LIN, Y.-H. Simulation based method considering design for additive manufacturing and supply chain: An empirical study of lamp industry. **Industrial Management & Data Systems**, v. 116, n. 2, p. 322–348, 2016.
- CHUNG, B. DO; KIM, S. IL; LEE, J. S. Dynamic design and operations plan for connected smart factories with additive manufacturing. **Applied Sciences**, v. 8, n. 4, p. 1–16, 2018.
- CHUNG, M.; KIM, J. The Internet Information and Technology Research Directions based on the Fourth Industrial Revolution. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, v. 10, n. 3, p. 1311–1320, 2016.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação**. 2. ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. DA. **Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. Congresso brasileiro de gestão de desenvolvimento de produto (CBGDP). **Anais...**Porto Alegre: 2011
- COOPER, F. Sintering and additive manufacturing: “additive manufacturing and the new paradigm for the jewellery manufacturer”. **Johnson Matthey Technology Review**, v. 59, n. 3, p. 233–242, 2016.
- COSTABILE, G. et al. Cost models of additive manufacturing: A literature review. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 8, n. 2, p. 263–282, 2017.
- COZMEL, C.; CALOIAN, F. Additive Manufacturing Flickering at the Beginning of Existence. **Procedia Economics and Finance**, v. 3, n. march 2009, p. 457–462, 2012.
- DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. **Management Science**, v. 35, n. 8, p. 982–1003, 1989.
- DAWES, B. 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.
- DE LA TORRE, N.; ESPINOSA, M. M.; DOMÍNGUEZ, M. Rapid Prototyping in Humanitarian Aid To Manufacture Last Mile Vehicles Spare Parts: An Implementation Plan. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Services Industries**, v. 0, n. 1–8, p. 1–8, 2016.
- DE VERE, I. **Industrial Design 2.0: A renaissance**. 15th International Conference on Engineering and Product Design Education. **Anais...**DUBLIN, IRELAND: 2013
- DELIĆ, M.; KNEŽEVIĆ, B.; ŠKROBOT, P. **Additive manufacturing technologies adoption in automotive supply chains – The theoretical review**. 17th International Scientific Conference Business Logistics in Modern Management. **Anais...**2017
- DESPEISSE, M. et al. **Sustainable Value Roadmapping Framework for Additive Manufacturing**. 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering. **Anais...**The Author(s), 2017aDisponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.186>>
- DESPEISSE, M. et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 2, n. 15, p. 75–84, 2017b.
- DEW, N. et al. Effectual versus predictive logics in entrepreneurial decision-making: Differences between experts and novices. **Journal of Business Venturing**, v. 24, n. 4, p. 287–309, 2009.
- DOMBROWSKI, U.; DIX, Y. **Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing for Industry 4.0**. [s.l.] Springer International Publishing, 2018. v. 536
- DURACH, C. F.; KURPJUWEIT, S.; WAGNER, S. M. The impact of additive manufacturing on supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 47, n. 10, p. 954–971, 2017.
- DURÃO, L. F. C. S. et al. **Distributed Manufacturing of Spare Parts Based on Additive Manufacturing: Use Cases and Technical Aspects**. 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. **Anais...**2016
- DURÃO, L. F. C. S. et al. Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, n. 1–4, p. 869–880, 2017.
- DWIVEDI, G.; SRIVASTAVA, S. K.; SRIVASTAVA, R. K. Analysis of barriers to implement additive manufacturing technology in the Indian automotive sector. **International Journal of Physical**

- Distribution & Logistics Management**, v. 47, n. 10, p. 972–991, 2017.
- ECKEN, P.; GNATZY, T.; VON DER GRACHT, H. A. Desirability bias in foresight: Consequences for decision quality based on Delphi results. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 9, p. 1654–1670, 2011.
- EISENHARDT, K. M. et al. Theory Building From Cases: Opportunities And Challenges. **Academy of Management Journal**, v. 50, n. 1, p. 25–32, 2007.
- ELLRAM, L. M. the Use of the Case Study Method Misconceptions Related To the Use. **Journal of Business Logistics**, v. 17, n. 2, p. 93–138, 1996.
- EMELOGU, A. et al. Additive manufacturing of biomedical implants: A feasibility assessment via supply-chain cost analysis. **Additive Manufacturing**, v. 11, p. 97–113, 2016.
- EYERS, D. R.; POTTER, A. T. E-commerce channels for additive manufacturing: an exploratory study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 26, n. 3, p. 390–411, 2015.
- FENG, Y.; JIA, G. Scheduling under hybrid mode with additive manufacturing. **19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design - CSCWD**, n. 713, p. 281–285, 2015.
- FERA, M. et al. A new perspective for production process analysis using additive manufacturing— complexity vs production volume. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, n. 1–4, p. 673–685, 2018.
- FILIPPINI, R. Operations Management Research: Some Reflections on Evolution. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 17, n. 7, p. 655–670, 1997.
- FLEURY, A. Planejamento do Projeto de Pesquisa e Definição do Modelo Teórico. In: MIGUEL, P. A. M. (Ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 33–46.
- FLORES ITUARTE, I. et al. **3D printing and applications: academic research through case studies in Finland**. 12th Biennial NordDesign Conference on Highlighting the Nordic Approach. **Anais...Trondheim, Norway: 2016a**
- FLORES ITUARTE, I. et al. **3D printing and applications: academic research through case studies in Finland**. 12th Biennial NordDesign Conference on Highlighting the Nordic Approach. **Anais...Trondheim, Norway: 2016b**
- FORD, S.; DESPEISSE, M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1573–1587, 2016.
- FORD, S. L. N. Additive Manufacturing Technology : Potential Implications for U . S . Manufacturing Competitiveness. **Journal of International Commerce and Economics (USA)**, v. 6, n. September, p. 1–35, 2014.
- FRANCIS, J. J. et al. What is an adequate sample size? Operationalising data saturation for theory-based interview studies. **Psychology and Health**, v. 25, n. 10, p. 1229–1245, 2010.
- GANGA, G. M. D. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na Engenharia de Produção: um guia prático de conteúdo e forma**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- GARRETT, B. 3D printing: New economic paradigms and strategic shifts. **Global Policy**, v. 5, n. 1, p. 70–75, 2014.
- GEBLER, M.; UITERKAMP, A. J. M. S.; VISSER, C. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. **Energy Policy**, v. 74, p. 158–167, 2014.
- GHADGE, A. et al. Impact of additive manufacturing on aircraft supply chain performance: A system dynamics approach. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2018.
- GIBBERT, M.; RUIGROK, W.; WICKI, B. What passes as a rigorous case study? v. 29, n. 13, p. 1465–1474, 2008.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive manufacturing Technologies - Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer, 2010. v. 1
- GLASER, B. G.; STRAUSS, A. L. **Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative**

Research. [s.l.] Routledge, 2017.

GLOBAL AGENDA COUNCIL ON THE FUTURE OF SOFTWARE & SOCIETY. Deep Shift - Technology Tipping Points and Societal Impact. n. September, p. 43, 2015.

GRESS, D. R.; KALAFSKY, R. V. Geographies of production in 3D: Theoretical and research implications stemming from additive manufacturing. **Geoforum**, v. 60, p. 43–52, 2015.

GU, P. et al. Quality analysis and optimization of solid ground curing process. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 20, n. 4, p. 250–263, 2001.

GUEST, G.; BUNCE, A.; JOHNSON, L. How Many Interviews Are Enough?: An Experiment with Data Saturation and Variability. **Field Methods**, v. 18, n. 1, p. 59–82, 2006.

HÄMÄLÄINEN, M.; OJALA, A. **Additive manufacturing technology : Identifying Value Potential in Additive Manufacturing Stakeholder Groups and Business Networks**. 21th Americas Conference on Information Systems. **Anais...Puerto Rico: 2015**Disponível em: <<https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/46676>>

HASAN, S.; RENNIE, A. E. W. **The Application of Rapid Manufacturing Technologies in the Spare Parts Industry**. Solid Freedom Fabrication Symposium. **Anais...2008**

HASAN, S.; SMITH, P. C.; RENNIE, A. E. W. **A Comprehensive Business Model for Rapid Manufactured Products**. 2nd International Conference on Additive Technologies; DAAAM Specialized Conference. **Anais...Ptuj - Slovenia: 2008**

HASSON, F.; KEENEY, S. Enhancing rigour in the Delphi technique research. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 78, n. 9, p. 1695–1704, 2011.

HEDMAN, J.; KALLING, T. The business model concept: Theoretical underpinnings and empirical illustrations. **European Journal of Information Systems**, v. 12, n. 1, p. 49–59, 2003.

HOLMSTRÖM, J. et al. Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 21, n. 6, p. 687–697, 2010.

HOLMSTRÖM, J. et al. The direct digital manufacturing (r)evolution: definition of a research agenda. **Operations Management Research**, v. 9, p. 1–10, 2016.

HOLMSTRÖM, J.; GUTOWSKI, T. Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities? **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. S21–S24, 2017.

HOLZMANN, P. et al. User entrepreneur business models in 3D printing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 1, p. 75–94, 2017a.

HOLZMANN, P. et al. User entrepreneur business models in 3D printing. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 28, n. 1, p. 75–94, 2017b.

HOOVER, S.; LEE, L. Democratization and Disintermediation: Disruptive Technologies and the Future of Making Things. **Research-Technology Management**, v. 58, n. 6, p. 31–37, 2015.

HUANG, R. et al. Environmental and Economic Implications of Distributed Additive Manufacturing: The Case of Injection Mold Tooling. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. S130–S143, 2017.

HUANG, S. H. et al. Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5–8, p. 1191–1203, 2013.

IVAN, S.; YIN, Y. **Additive Manufacturing Impact for Supply Chain – Two Cases**. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM). **Anais...Singapore, Singapore: 2017**

JIA, F. et al. Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 202–213, 2016.

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, 2017.

JOHNSON, M. W.; CHRISTENSEN, CLAYTON M. KAGERMANN, H. Reinventing Your Business

Model. **Harvard Business Review**, v. 86, n. 12, p. 57–68, 2008.

JONKE, P. et al. **Integrated rapid prototyping of distributed energy resources in a real-time validation environment**. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. **Anais...**2016

KACHE, F.; SEURING, S. Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 37, n. 1, p. 10–36, 2017.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111–128, 2016.

KARANIA, R.; KAZMER, D.; ROSER, C. **Plastics product and process design strategies**. In Proceedings of the ASME DETC 9th Design for Manufacturing Conference. **Anais...**Salt Lake City, Utah, USA: 2004a

KARANIA, R.; KAZMER, D.; ROSER, C. **Plastics product and process design strategies**. Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. **Anais...**Salt Lake City, USA: 2004bDisponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-14044263029&partnerID=40&md5=c8ce2211808d829306e1e68f1307629d>>

KELLENS, K. et al. Environmental Dimensions of Additive Manufacturing: Mapping Application Domains and Their Environmental Implications. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. S49–S68, 2017.

KEMBRO, J.; NÄSLUND, D.; OLHAGER, J. Information sharing across multiple supply chain tiers: A Delphi study on antecedents. **International Journal of Production Economics**, v. 193, n. June 2016, p. 77–86, 2017.

KERSTEN, W.; SEE, B. VON; SKIRDE, H. **Identification of Megatrends Affecting Complexity in Logistics Systems**. (W. Kersten, T. Blecker, C. M. Ringle, Eds.)16 Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL) - Next Generation Supply Chains. **Anais...**Hamburg: epubli GmbH, Berlin, 2014

KETOKIVI, M.; CHOI, T. Renaissance of Case Research as a Scientific Method. **Journal of Operations Management**, v. 32, n. 5, p. 232–240, abr. 2014.

KHAJAVI, S. et al. Selective laser melting raw material commoditization: impact on comparative competitiveness of additive manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 14, p. 4874–4896, 2018a.

KHAJAVI, S. et al. To kit or not to kit: Analysing the value of model-based kitting for additive manufacturing. **Computers in Industry**, v. 98, p. 100–117, 2018b.

KHAJAVI, S. H.; HOLMSTRÖM, J. **Manufacturing Digitalization and Its Effects on Production Planning and Control Practices**. IFIP Advances in Information and Communication Technology - International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS). **Anais...**2015

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.

KIANIAN, B.; TAVASSOLI, S.; LARSSON, T. C. The Role of Additive Manufacturing Technology in Job Creation: An Exploratory Case Study of Suppliers of Additive Manufacturing in Sweden. **12th Global Conference on Sustainable Manufacturing**, v. 26, p. 93–98, 2015.

KIEL, D.; ARNOLD, C.; VOIGT, K. I. The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies – A business level perspective. **Technovation**, v. 68, n. September 2016, p. 4–19, 2017.

KIETZMANN, J.; PITT, L.; BERTHON, P. Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209–215, 2015.

KIM, S. Openly innovative entrepreneurship practice: cost-effective 3D printing electronic prosthetic hand. **International Journal Teaching and Case Studies**, v. 7, n. 1, p. 51–65, 2016.

KING, N. Using interviews in qualitative research. In: CASSELL, C.; SYMON, G. (Eds.). **Essential Guide to Qualitative Methods in Organizational Research**. Thousand Oaks, CA: Sage, 2004. p. 11–22.

- KLEIN, G. et al. **A data-frame theory of sense- making**. Expertise Out of Context: Proceedings of the Sixth International Conference on Naturalistic Decision Making. *Anais...*New York, NY: Lawrence Erlbaum, 2007
- KLEIN, G.; MYERS, M. D. A data-frame theory of sense- making. *MIS Quarterly*, v. 23, n. 1, p. 67–93, 1999.
- KNOFIUS, N.; VAN DER HEIJDEN, M. C.; ZIJM, W. H. M. Selecting parts for additive manufacturing in service logistics. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 27, n. 7, p. 915–931, 2016.
- KOC, B.; LEE, Y. S. Adaptive ruled layers approximation of STL models and multiaxis machining applications for rapid prototyping. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 21, n. 3, p. 153–166, 2002.
- KURMAN, M. Carrots, Not Sticks: Rethinking Enforcement of Intellectual Property Rights for 3D-Printed Manufacturing. *3D Printing and Additive Manufacturing*, v. 1, n. 1, p. 44–51, 2014.
- LAN, H.; DING, Y.; HONG, J. Decision support system for rapid prototyping process selection through integration of fuzzy synthetic evaluation and an expert system. *International Journal of Production Research*, v. 43, n. 1, p. 169–194, 2005.
- LAPLUME, A.; ANZALONE, G. C.; PEARCE, J. M. Open-source, self-replicating 3-D printer factory for small-business manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 85, p. 633–642, 2016.
- LAPLUME, A. O.; PETERSEN, B.; PEARCE, J. M. Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*, v. 47, n. 5, p. 595–609, 2016.
- LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.
- LAU, S. K.; LEUNG, N. K. Y. **OPPORTUNITIES AND IMPACTS OF ADDITIVE MANUFACTURING: A LITERATURE REVIEW**. (T. C. Du, J. H. Cheng, Eds.)The Fifteenth International Conference on Electronic Business - “Internet of Things”. *Anais...ShaTin - Hong Kong*: 2015
- LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, v. 16, p. 3–8, 2014.
- LI; KUCUKKOC, I.; ZHANG, D. Z. Production Planning in Additive Manufacturing and 3D Printing. *Computers & Operations Research*, v. 83, p. 157–172, 2017.
- LI, Y. et al. Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. *International Journal of Production Research*, v. 55, n. 5, p. 1498–1515, 2017.
- LIN, Y.; CHEN, Y.; CHIU, M. **Configuration Optimization of Additive Manufacturing Based Supply Chain Using Simulation Approach**. 21st ISPE Inc. International Conference on Concurrent Engineering: Moving Integrated Product Development to Service Clouds in the Global Economy. *Anais...*2014
- LINDEMANN, C. et al. **Impact and Influence Factors of Additive Manufacturing on Product Lifecycle Costs**. 24th Solid Freeform Fabrication Symposium. *Anais...*2013
- LITTIG, B.; PÖCHHACKER, F. Socio-Translational Collaboration in Qualitative Inquiry: The Case of Expert Interviews. *Qualitative Inquiry*, v. 20, n. 9, p. 1085–1095, 2014.
- LIU, P. et al. The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis. *Production Planning & Control*, v. 25, n. 13–14, p. 1169–1181, 2013.
- LIU, X.; ZHOU, X. **The impact on industrial design by the development of three-dimensional printing technology from a technical perspective**. 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1. *Anais...*Yiwu, China: 2010Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79951607926&partnerID=tZOtx3y1>>
- LIU, Z. et al. A 3D printed smartphone optosensing platform for point-of-need food safety inspection. *Analytica Chimica Acta*, v. 966, p. 81–89, 2017.
- LOCKSTRÖM, M. et al. Antecedents to supplier integration in the automotive industry: A multiple-case study of foreign subsidiaries in China. *Journal of Operations Management*, v. 28, n. 3, p. 240–256,

2010.

- MA, X. L. Application prospect of additive manufacturing technology in 3D printing. **Advanced Materials Research**, v. 803, p. 409–412, 2013.
- MAGRETTA, J. Why Business Models Matter. **Harvard Business Review**, v. 80, n. 5, p. 86–92, 2002.
- MALAQUIAS, P. Consumer 3D printing: Is the UK copyright and design law framework fit for purpose? **Queen Mary Journal of Intellectual Property**, v. 6, n. 3, p. 321–340, 2016.
- MAN, J. C. DE; STRANDHAGEN, J. O. An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 721–726, 2017.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. No Title. In: **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S. A., 2003. p. 155–233.
- MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Ed.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 47–63.
- MASHHADI, A. R.; BEHDAD, S. **Measuring the complexity of additive manufacturing supply chains**. 12th International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC. **Anais...**Los Angeles, CA, USA: 2017
- MASHHADI, A. R.; ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S. **Impact of Additive Manufacturing Adoption on Future of Supply Chains**. International Manufacturing Science and Engineering Conference (MSEC). **Anais...**Charlotte-USA: 2015Disponível em: <<http://getcot.eng.buffalo.edu/wp-content/uploads/2014/03/Impact-of-Additive-Manufacturing-Adoption-on-Future-of-Supply-Chains.pdf>>
- MASOOD, S. H. Application of fused deposition modelling in controlled drug delivery devices. **Assembly Automation**, v. 27, n. 3, p. 215–221, 2007.
- MATIAS, E.; RAO, B. **3D printing: On its historical evolution and the implications for business**, 2015. (Nota técnica).
- MAXWELL, J. A. **Qualitative research design: an interactive approach**. 3. ed. ed. Los Angeles: SAGE, 2013.
- MCCUTCHEON, D. M.; MEREDITH, J. R. Conducting Case Study Research in Operations Management Conducting case study research in operations. **Journal of Operations Management**, v. 11, n. SEPTEMBER, p. 239–256, 1993.
- MEISEL, N. A. et al. Decision support for additive manufacturing deployment in remote or austere environments. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 27, n. 7, p. 898–914, 2016.
- MELLOR, S.; HAO, L.; ZHANG, D. Additive manufacturing: A framework for implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 149, p. 194–201, 2014.
- METALLO, C. et al. Understanding business model in the Internet of Things industry. **Technological Forecasting and Social Change**, n. February 2017, p. 0–1, 2018.
- MINETOLA, P.; EYERS, D. R. **Additive Manufacturing as a Driver for the Sustainability of Short-Lifecycle Customized Products: the Case Study of Mobile Case Covers**. International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (SDM). **Anais...**Springer, Cham, 2017Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-57078-5>>
- MINGUELLA-CANELA, J. et al. **Comparison of production strategies and degree of postponement when incorporating additive manufacturing to product supply chains**. Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC. **Anais...**Vigo, Spain: Elsevier B.V., 2017Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.181>>
- MOEUF, A. et al. The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 3, p. 1118–1136, 2018.
- MOHR, S.; KHAN, O. 3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future. **Technology Innovation Management Review**, v. 5, n. 11, p. 20–25, 2015.
- MOLLENKOPF, D. A.; FRANKEL, R.; RUSSO, I. Creating value through returns management: Exploring the marketing-operations interface. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 5, p. 391–403, 2011.

- MONTES, J. O. **Impacts of 3D printing on the development of new business models**. IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS). *Anais...*2016Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7912605/>>
- MOORE, G. C.; BENBASAT, I. Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, v. 2, n. 3, p. 192–223, 1991.
- MORADLOU, H.; BACKHOUSE, C. **An Investigation into Re-shoring Decision: Case Study Approach**. 14th International Conference on Manufacturing Research, ICMR. *Anais...*2016
- MORRIS, M.; SCHINDEHUTTE, M.; ALLEN, J. The entrepreneur's business model: Toward a unified perspective. *Journal of Business Research*, v. 58, n. 6, p. 726–735, 2005.
- MORTARA, L.; PARISOT, N. G. Through entrepreneurs' eyes: the Fab-spaces constellation. *International Journal of Production Research*, v. 54, n. 23, p. 7158–7180, 2016.
- 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.
- MUITA, K.; WESTERLUND, M.; RAJALA, R. **The evolution of rapid production: How to adopt novel manufacturing technology**. IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing: INCOM. *Anais...*Elsevier Ltd., 2015Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.054>>
- MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, n. September 2017, p. 0–1, 2018.
- MURMURA, F.; BRAVI, L. Additive manufacturing in the wood-furniture sector: Sustainability of the technology, benefits and limitations of adoption. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 29, n. 2, p. 350–371, 2017.
- NEUMAN, W. L. **Operations management research: some reflections on revolution, models and empirical studies in OM**. 5^a ed. ed. Boston: Allyn and Bacon, 2003.
- NIAKI, M. K.; NONINO, F. Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 28, n. 1, p. 56–74, 2017.
- NIELSEN, C.; LUND, M. **Business Models: Networking, Innovating and Globalizing**. [s.l.] Ventus Publishing ApS, 2010.
- NYAMEKYE, P. et al. **Overview of Sustainability Studies of CNC Machining and LAM of Stainless Steel**. 15th Nordic Laser Materials Processing Conference, Nolamp. *Anais...*Lappeenranta, Finland: Elsevier B.V., 2015Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215015412>>
- OETTMEIER, K.; HOFMANN, E. Impact of additive manufacturing technology adoption on supply chain management processes and components. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 27, n. 7, p. 944–968, 2016.
- OETTMEIER, K.; HOFMANN, E. Additive manufacturing technology adoption: an empirical analysis of general and supply chain-related determinants. *Journal of Business Economics*, v. 87, n. 1, p. 97–124, 2017.
- OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. An ontology for e-Business models. *Value Creation from e-Business Models*, p. 65–97, 2004.
- OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. **Business Model Generation**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.; TUCCI, C. L. Clarifying business models: origins, present, and future of the concept. *Communications of the Association for Information Systems*, v. 15, n. 1, p. 1–43, 2005.
- PENG, A. T. et al. Sustainability of Additive Manufacturing: an overview on its energy demand and environmental impact. *Additive Manufacturing*, v. 21, p. 694–704, 2018.
- PILKINGTON, A.; FRANDBSEN, T.; REHNBERG, M. **Beyond the obvious: A framework for exploiting the impact of 3D printing**. IEEE International Conference on Industrial Engineering and

Engineering Management. **Anais...**2015

PLÉ, L.; LECOCQ, X.; ANGOT, J. Customer-integrated business models: A theoretical framework. **Management**, v. 13, n. 4, p. 226–265, 2010.

PORTER, M. E. Towards a dynamic theory of strategy. **Strategic Management Journal**, v. 12, n. 2 S, p. 95–117, 1991.

PORTER, M. E. Strategy and the Internet. **Harvard business review**, v. 79, n. 3, p. 62–78, 164, 2001.

PORTOLÉS, L. et al. A qualification procedure to manufacture and repair aerospace parts with electron beam melting. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 41, p. 65–75, 2016.

POUR, M. A. et al. **An Economic Insight into Additive Manufacturing System Implementation**. International Conference on Advances in Production Management Systems. **Anais...**Tokyo, Japan: Springer, Cham, 2015Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-22759-7>>

POUR, M. A. et al. **Additive Manufacturing Impacts on Productions and Logistics Systems**. IFAC-PapersOnLine. **Anais...**Elsevier B.V., 2016Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.822>>

RAJALA, R.; WESTERLUND, M. Business Models – A New Perspective on Firms' Assets and Capabilities. **The International Journal of Entrepreneurship and Innovation**, v. 8, n. 2, p. 115–125, 2007.

RATNAYAKE, R. M. C. **Making sense of 3D printing/additive layer manufacturing in offshore petroleum industry: State of the art**. 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE. **Anais...**Busan, South Korea: 2016

RATNAYAKE, R. M. C. OMAE2016-54537 PETROLEUM INDUSTRY : STATE OF THE ART. p. 1–13, 2018.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. The impact of 3D printing technologies on business model innovation. **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 261, p. 119–261, 2014.

RAYNA, T.; STRIUKOVA, L. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 102, p. 214–224, 2016.

REEFKE, H.; SUNDARAM, D. Key themes and research opportunities in sustainable supply chain management – identification and evaluation. **Omega (United Kingdom)**, v. 66, p. 195–211, 2017.

REHNBERG, MÄ.; PONTE, S. From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains. **Global Networks**, v. 18, n. 1, p. 57–80, 2018.

ROGERS. **Diffusion of Innovations**. 5rd (ed.) ed. New York, NY.: Free Press, 2003.

ROGERS, H.; BARICZ, N.; PAWAR, K. S. 3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 10, p. 886–907, 2016.

ROGERS, H.; BARICZ, N.; PAWAR, K. S. **3D Printing Services: A Supply Chain Configurations Framework Helen**. International Conference on Sustainable Design and Manufacturing: Sustainable Design and Manufacturing (SDM). **Anais...**Springer, Cham, 2017Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-57078-5>>

ROMERO-TORRES, A.; VIERA, D. R. Is 3D printing transforming the project management in the aerospace industry? **Journal of Modern Project Management**, v. 4, n. 1, p. 113–119, 2016.

ROMERO, A.; VIEIRA, D. R. **How Additive Manufacturing Improves Product Lifecycle Management and Supply Chain Management in the Aviation Sector?** Advances in Information and Communication Technology - Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things. PLM. **Anais...**2016Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-33111-9_8>

ROWLEY, J.; SLACK, F. Conducting a literature review. **Management Research News**, v. 27, n. 6, p. 31–39, 2004.

RÜSSMANN, M. et al. **Industry 4.0 - The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries**. Boston, Massachusetts, USA: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>>.

- RYAN, P.; SCHWERDTFEGER, J.; RODERMANN, M. **Establishment of a competitive additive manufacturing workshop**. ASME Turbo Expo 2016: Turbomachinery Technical Conference and Exposition. *Anais...Seoul, South Korea*: 2016
- RYLANDS, B. et al. The adoption process and impact of additive manufacturing on manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 27, n. 7, p. 969–989, 2016.
- SASSON, A.; JOHNSON, J. C. The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 46, n. 1, p. 82–94, 2016.
- SAUERWEIN, M. et al. Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p. 1138–1149, 2019.
- SCAPOLO, F.; MILES, I. Eliciting experts' knowledge: A comparison of two methods. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 73, n. 6, p. 679–704, 2006.
- SCHNIEDERJANS, D. G. Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis. *International Journal of Production Economics*, v. 183, n. July 2016, p. 287–298, 2017.
- SCHRÖDER, M.; FALK, B.; SCHMITT, R. **Evaluation of cost structures of additive manufacturing processes using a new business model**. 7th Industrial Product-Service Systems Conference - PSS, industry transformation for sustainability and business. *Anais...Elsevier B.V.*, 2015Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.144>>
- SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161–166, 2016.
- SCOTT, A.; HARRISON, T. Additive Manufacturing in an End-to-End Supply Chain Setting. *3D Printing and Additive Manufacturing*, v. 2, n. 2, p. 65–77, 2015.
- SEURING, S.; GOLD, S. Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management*, v. 17, n. 5, p. 544–555, 2012.
- SHAH, S. et al. **Contribution of Additive Manufacturing Systems to Supply Chain**. International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application (ICIMSA). *Anais...2017*Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7985586/>>
- SHI, Y. et al. Application software system based on direct slicing for rapid prototyping. *International Journal of Production Research*, v. 42, n. 11, p. 2227–2242, 2004.
- SHIMADA, T.; VAN WASSENHOVE, L. N. Closed-Loop supply chain activities in Japanese home appliance/personal computer manufacturers: A case study. *International Journal of Production Economics*, v. 212, n. April 2013, p. 259–265, 2019.
- SHOUCHE, S. et al. **Supply chain operations reference model for u.s. based powder bed metal additive manufacturing processes**. Winter Simulation Conference. *Anais...2016*
- SILVEIRA, W. G. et al. **Development of Guidelines to Base Hoshin Kanri Application**. 22nd International Conference on Production Research. *Anais...Iguassu Falls*: 2013
- SILVEIRA, W. G. et al. Guidelines for Hoshin Kanri implementation: Development and discussion. *Production Planning and Control*, v. 28, n. 10, p. 843–859, 2017.
- SIMONS, M. Additive manufacturing — a revolution in progress ? Insights from a multiple case study. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 96, n. 1–4, p. 735–749, 2018.
- SIRICHAKWAL, I.; CONNER, B. Implications of Additive Manufacturing for Spare Parts Inventory. *3D printing and additive manufacturing*, v. 3, n. 1, p. 56–63, 2016.
- SISCA, F. G. et al. **Additive manufacturing as a strategic tool for industrial competition**. 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a Better Tomorrow, RTSI. *Anais...2016*
- SPALT, P.; BAUERNHANSL, T. **A Framework for Integration of Additive Manufacturing Technologies in Production Networks**. 49th Conference on Manufacturing Systems (CIRP-CMS). *Anais...Elsevier B.V.*, 2016Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.124>>
- SPIGGLE, S. Analysis and Interpretation of Qualitative Data in Consumer Research. *Journal of Consumer Research*, v. 21, n. 3, p. 491, 1994.

- STEENHUIS, H.-J.; PRETORIUS, L. Consumer additive manufacturing or 3D printing adoption: an exploratory study. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 27, n. 7, p. 990–1012, 2016.
- STRANDHAGEN, J. O. et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. **Advances in Manufacturing**, n. 1, 2017.
- STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. **Multinational Business Review**, v. 25, n. 3, p. 174–184, 2017.
- STRAUSS, A. L.; CORBIN, J. M. Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. **Qualitative Sociology**, v. 13, n. 1, p. 3–21, 1990.
- STRONG, D. et al. Current state and potential of additive - Hybrid manufacturing for metal parts. **Rapid Prototyping Journal**, v. 23, n. 3, p. 577–588, 2017.
- STRONG, D. et al. Hybrid manufacturing – integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain. **Additive Manufacturing**, v. 21, p. 159–173, 2018.
- SUN, J. et al. **A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication**. 43rd Proceedings of the North American Manufacturing Research Institution of SME. **Anais...Elsevier B.V.**, 2015Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351978915010574>>
- SUN, L.; ZHAO, L. Envisioning the era of 3D printing: a conceptual model for the fashion industry. **Fashion and Textiles**, v. 4, n. 1, 2017.
- TANG, Y.; MAK, K.; ZHAO, Y. F. A framework to reduce product environmental impact through design optimization for additive manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1560–1572, 2016.
- TATHAM, P.; LOY, J.; PERETTI, U. Three dimensional printing – a key tool for the humanitarian logistician? **Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**, v. 5, n. 2, p. 188–208, 2015.
- TEECE, D. J. Business models, business strategy and innovation. **Long Range Planning**, v. 43, n. 2–3, p. 172–194, 2010.
- TESCH, J. F.; BRILLINGER, A.-S.; BILGERI, D. Internet of Things Business Model Innovation and the Stage-Gate Process: an Exploratory Analysis. **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 05, p. 1740002, 2017.
- THOMAS, D. Costs , benefits , and adoption of additive manufacturing : a supply chain perspective. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 85, p. 1857–1876, 2016.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.
- TRAPPEY, A. J. C. et al. A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, n. 2017, p. 208–229, 2017.
- TRKMAN, P.; BUDLER, M.; GROZNIK, A. A business model approach to supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 20, n. 6, p. 587–602, 2015.
- TUCK, C.; HAGUE, R. The pivotal role of rapid manufacturing in the production of cost-effective customised products. **International Journal of Mass Customisation**, v. 1, n. 2/3, p. 360, 2006.
- TUCK, C.; HAGUE, R.; BURNS, N. Rapid manufacturing: impact on supply chain methodologies and practice. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 3, n. 1, p. 1–22, 2007.
- VENKATESH, V.; THONG, J. Y. L.; XU, X. Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory. **MIS Quarterly**, v. 36, n. 1, p. 157–178, 2012.
- VERHOEF, L. A. et al. The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach. **Energy Policy**, v. 112, n. October, p. 349–360, 2018.
- VINODH, S. et al. Agility through rapid prototyping technology in a manufacturing environment using a 3D printer. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 20, n. 7, p. 1023–1041, 2009.
- VINODH, S.; SUNDARARAJ, G.; DEVADASAN, S. R. Total agile design system model via literature exploration. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, n. 4, p. 570–588, 2009.
- VON DER GRACHT, H. A.; DARKOW, I. L. Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-

- based analysis for 2025. **International Journal of Production Economics**, v. 127, n. 1, p. 46–59, 2010.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.
- WAGNER, S. M.; WALTON, R. O. Additive manufacturing's impact and future in the aviation industry. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 13, p. 1124–1130, 2016.
- WALSHAM, G. Interpretive Case Studies in IS Research : Nature and Method. **European Journal of Information Systems**, v. 4, p. 74–81, 1995.
- WANG, Y. et al. Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? **International Journal of Production Economics**, v. 211, n. February, p. 221–236, 2019.
- WELLER, C.; KLEER, R.; PILLER, F. T. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. **International Journal of Production Economics**, v. 164, p. 43–56, 2015.
- WIRTH, M.; THIESSE, F. **Shapeways and the 3D printing revolution**. European Conference on Information Systems (ECIS). **Anais...**2014
- WOODSON, T. S. 3D printing for sustainable industrial transformation. **Development (Basingstoke)**, v. 58, n. 4, p. 571–576, 2015.
- YAO, Y. et al. Learning curves in collaborative planning, forecasting, and replenishment (CPFR) information systems: An empirical analysis from a mobile phone manufacturer. **Journal of Operations Management**, v. 31, n. 6, p. 285–297, 2013.
- YIN, R. K. **Case Study Research Design and Methods**. 5th ed. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.
- YOUSUF, M. I. Using Experts` Opinions Through Delphi Technique - Practical Assessment, Research & Evaluation. **Practical Assessment, Research and Evaluation**, v. 12, n. 4, 2007.
- ZANARDINI, M. et al. **Benefits and costs of additive manufacturing applications: An evaluation guideline**. 20th Summer School “Francesco Turco”. **Anais...**St. ChiaraNaples, Italy: 2015Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306100171_Benefits_and_Costs_of_Additive_Manufacturing_Applications_An_Evaluation_Guideline>
- ZANARDINI, M. et al. Additive Manufacturing Applications in the Domain of Product Service System: An Empirical Overview. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 543–548, 2016.
- ZANETTI, V. et al. **The Role of Additive Manufacturing in the B2C Value Chain: Challenges, Opportunities and Models**. International Conference on Advances in Production Management Systems. **Anais...**2015Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-22759-7>>
- ZANETTI, V.; CAVALIERI, S.; PEZZOTTA, G. **Additive Manufacturing and PSS: a Solution Life-Cycle Perspective**. IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control. **Anais...**Elsevier B.V., 2016Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.804>>
- ZELTMANN, S. E. et al. Manufacturing and Security Challenges in 3D Printing. **Jom**, v. 68, n. 7, p. 1872–1881, 2016.
- ZHANG, J. L.; ZHANG, Z.; HAN, Y. Research on manufacturability optimization of discrete products with 3D printing involved and lot-size considered. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 43, p. 150–159, 2017.
- ZHANG, Z.; WANG, S. Patient decision making for traditional vs. 3D printing-based meniscus transplantation. **67th Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers 2017**, p. 734–739, 2017.
- ZOTT, C.; AMIT, R.; MASSA, L. The business model: Recent developments and future research. **Journal of Management**, v. 37, n. 4, p. 1019–1042, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PADRONIZAÇÃO DE TERMOS

Para a melhor compreensão do texto, os termos correlatos à manufatura aditiva foram padronizados, conforme ilustrado no Quadro A.

Quadro A – Padronização de termos

Termos existentes na literatura	Termo utilizado
<i>3D printed/printing direct</i>	
<i>Additive fabrication</i>	
<i>Additive layered fabrication/manufacturing</i>	
<i>Additive manufactured/manufacturing</i>	
<i>Additive processes</i>	
<i>Additive techniques</i>	
<i>Digital fabrication</i>	
<i>Digital manufacturing</i>	Manufatura aditiva (MA)
<i>Direct digital manufacturing</i>	<i>Additive Manufacturing</i>
<i>eManufacturing</i>	(AM)
<i>Freeform fabrication</i>	
<i>Generative manufacturing</i>	
<i>Increasing material manufacturing</i>	
<i>Layer manufacturing</i>	
<i>Rapid prototyping</i>	
<i>Rapid manufacturing</i>	
<i>Rapid tooling</i>	
<i>Tridimensional printed/printing</i>	
<i>Three dimensional printed/printing</i>	

Fonte: Proposto pela autora.

APÊNDICE B - LISTA DE ARTIGOS ESTUDADOS NA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O Quadro B lista os autores, ano e títulos dos artigos considerados na Revisão Sistemática da Literatura.

Quadro B – Lista de Artigos da RSL

Nº	Autores (ano)	Títulos	Empírico?
1	Achillas et al. (2015)	<i>A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory</i>	N
2	Ahuja, Karg e Schmidt (2015)	<i>Additive manufacturing in production: Challenges and opportunities</i>	N
3	Attaran (2017)	<i>The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing</i>	N
4	Baumers et al. (2013)	<i>Transparency Built-in: Energy Consumption and Cost Estimation for Additive Manufacturing</i>	N
5	Ben-Ner e Siemsen (2017)	<i>Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing (3D Printing)</i>	N
6	Bhattacharjya et al. (2014)	<i>Additive manufacturing: Current status and future prospects</i>	S
7	Bogers, Hadar e Bilberg (2016)	<i>Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing</i>	N
8	Burkhart e Aurich (2015)	<i>Framework to predict the environmental impact of additive manufacturing in the life cycle of a commercial vehicle</i>	N
9	Busachi et al. (2016)	<i>Defining Next-Generation Additive Manufacturing Applications for the Ministry of Defence (MoD)</i>	S
10	Cerdas et al. (2017)	<i>Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System</i>	N
11	Chan et al. (2017)	<i>Impact of 3d printing technology on supply chain in china</i>	S
12	Chekurov e Salmi (2017)	<i>Additive Manufacturing in Offsite Repair of Consumer Electronics</i>	N
13	Chen (2017b)	<i>The Service-oriented Manufacturing Mode based on 3D printing: A Case of Personalized</i>	N

		<i>Toy</i>	
14	Chen (2017a)	<i>The Influence of 3D Printing on Global Container Multimodal Transport System</i>	S
15	Chiu e Lin (2016)	<i>Simulation based method considering design for additive manufacturing and supply chain: An empirical study of lamp industry</i>	S
16	Chung, Kim e Lee (2018)	<i>Dynamic supply chain design and operations plan for connected smart factories with additive manufacturing</i>	N
17	Cooper (2016)	<i>Sintering and additive manufacturing: The new paradigm for the jewellery manufacturer</i>	N
18	Costabile et al. (2017)	<i>Cost models of additive manufacturing: A literature review</i>	N
19	Dawes, Bowerman e Trepleton (2015)	<i>Introduction to the additive manufacturing powder metallurgy supply chain</i>	N
20	De la Torre, Espinosa e Dominguez (2016)	<i>Rapid Prototyping in Humanitarian Aid to Manufacture Last Mile Vehicles Spare Parts: An Implementation Plan</i>	N
21	De Vere (2013)	<i>Industrial Design 2.0: A renaissance</i>	N
22	Delić, Knežević e Škrobot (2017)	<i>Additive manufacturing technologies adoption in automotive supply chains - the theoretical review</i>	N
23	Despeisse et al. (2017b)	<i>Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda</i>	N
24	Despeisse et al. (2017a)	<i>Sustainable Value Roadmapping Framework for Additive Manufacturing</i>	S
25	Durach, Kurpjuweit e Wagner (2017)	<i>The impact of additive manufacturing on supply chains</i>	S
26	Durão et al. (2017)	<i>Additive manufacturing scenarios for distributed production of spare parts</i>	N
27	Durão et al. (2016)	<i>Distributed Manufacturing of Spare Parts Based on Additive Manufacturing: Use Cases and Technical Aspects</i>	N
28	Dwivedi, Srivastava e Srivastava (2017)	<i>Analysis of barriers to implement additive manufacturing technology in the Indian automotive sector</i>	S
29	Emelogu et al. (2016)	<i>Additive manufacturing of biomedical implants: A feasibility assessment via supply-chain cost analysis</i>	S
30	Eyers e Potter (2015)	<i>E-commerce channels for additive</i>	S

		<i>manufacturing: An exploratory study</i>	
31	Feng e Jia (2015)	<i>Scheduling under hybrid mode with additive manufacturing</i>	N
32	Fera et al. (2018)	<i>A new perspective for production process analysis using additive manufacturing - complexity vs production volume</i>	N
33	Flores Ituarte et al. (2016b)	<i>3D printing and applications: academic research through case studies in Finland</i>	S
34	Ford e Despeisse (2016)	<i>Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges</i>	S
35	Garrett (2014)	<i>3D printing: New economic paradigms and strategic shifts</i>	N
36	Gebler, Schoot Uiterkamp e Visser (2014)	<i>A global sustainability perspective on 3D printing technologies</i>	N
37	Ghadge et al. (2018)	<i>Impact of additive manufacturing on aircraft supply chain performance: A system dynamics approach</i>	N
38	Gress e Kalafsky (2015)	<i>Geographies of production in 3D: Theoretical and research implications stemming from additive manufacturing</i>	N
39	Gu et al. (2001)	<i>Quality analysis and optimization of solid ground curing process</i>	N
40	Hämäläinen e Ojala (2015)	<i>Additive manufacturing technology: Identifying value potential in additive manufacturing stakeholder groups and business networks</i>	S
41	Hasan e Rennie (2008)	<i>The application of rapid manufacturing technologies in the spare parts industry</i>	N
42	Hasan, Smith e Rennie (2008)	<i>A comprehensive business model for rapid manufactured products</i>	S
43	Holmström e Gutowski (2017)	<i>Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities?</i>	N
44	Holmström et al. (2010)	<i>Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment</i>	N
45	Holmström et al. (2016)	<i>The direct digital manufacturing (r)evolution: definition of a research agenda</i>	N
46	Holzmann et al. (2017a)	<i>User entrepreneur business models in 3D printing</i>	S
47	Hoover e Lee (2015)	<i>Democratization and</i>	N

		<i>disintermediation: Disruptive technologies and the future of making things</i>	
48	Huang et al. (2013)	<i>Additive manufacturing and its societal impact: A literature review</i>	N
49	Huang et al. (2017)	<i>Environmental and Economic Implications of Distributed Additive Manufacturing: The Case of Injection Mold Tooling</i>	N
50	Ivan e Yin (2017)	<i>Additive manufacturing impact for supply chain - Two cases</i>	S
51	Jia et al. (2016)	<i>Investigating the feasibility of supply chain-centric business models in 3D chocolate printing: A simulation study</i>	S
52	Jiang, Kleer e Piller (2017)	<i>Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030</i>	S
53	Jonke et al. (2016)	<i>Integrated rapid prototyping of distributed energy resources in a real-time validation environment</i>	N
54	Karania, Kazmer e Roser (2004b)	<i>Plastics product and process design strategies</i>	N
55	Kellens et al. (2017)	<i>Environmental Dimensions of Additive Manufacturing Mapping Application Domains and Their Environmental Implications</i>	N
56	Khajavi e Holmström (2015)	<i>Manufacturing digitalization and its effects on production planning and control practices</i>	N
57	Khajavi et al. (2018b)	<i>To kit or not to kit: Analysing the value of model-based kitting for additive manufacturing</i>	N
58	Khajavi et al. (2018a)	<i>Selective laser melting raw material commoditization: impact on comparative competitiveness of additive manufacturing</i>	S
59	Kianian, Tavassoli e Larsson (2015)	<i>The role of Additive Manufacturing technology in job creation: An exploratory case study of suppliers of Additive Manufacturing in Sweden</i>	S
60	Kim (2016)	<i>Openly innovative entrepreneurship practice: cost-effective 3D printing electronic prosthetic hand</i>	N
61	Knofius, van der Heijden e Zijm (2016)	<i>Selecting parts for additive manufacturing in service logistics</i>	S
62	Koc e Lee (2002)	<i>Adaptive ruled layers approximation of STL models and multiaxis machining applications for rapid prototyping</i>	N

63	Kurman (2014)	<i>Carrots, Not Sticks: Rethinking Enforcement of Intellectual Property Rights for 3D-Printed Manufacturing</i>	N
64	Lan, Ding e Hong (2005) EXCLUÍDO	<i>Decision support system for rapid prototyping process selection through integration of fuzzy synthetic evaluation and an expert system</i>	N
65	Laplume, Anzalone e Pearce (2016)	<i>Open-source, self-replicating 3-D printer factory for small-business manufacturing</i>	N
66	Laplume, Petersen e Pearce (2016)	<i>Global value chains from a 3D printing perspective</i>	N
67	Li et al. (2017)	<i>Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study</i>	N
68	Li, Kucukkoc e Zhang (2017)	<i>Production planning in additive manufacturing and 3D printing</i>	N
69	Lin, Chen e Chiu (2014)	<i>Configuration optimization of additive manufacturing based Supply Chain using simulation approach</i>	S
70	Lindemann et al. (2013)	<i>Impact and influence factors of additive manufacturing on product lifecycle costs</i>	N
71	Liu e Zhou (2010)	<i>The impact on industrial design by the development of three-dimensional printing technology from a technical perspective</i>	N
72	Liu et al. (2013)	<i>The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: Supply Chain Operation Reference (SCOR) model based analysis</i>	N
73	Liu et al. (2017)	<i>A 3D printed smartphone optosensing platform for point-of-need food safety inspection</i>	N
74	Malaquias (2016)	<i>Consumer 3D printing: Is the UK copyright and design law framework fit for purpose?</i>	N
75	Mashhadi e Behdad (2017)	<i>Measuring the complexity of additive manufacturing supply chains</i>	N
76	Mashhadi, Esmaeilian e Behdad (2015)	<i>Impact of additive manufacturing adoption on future of supply chains</i>	N
77	Masood (2007)	<i>Application of fused deposition modelling in controlled drug delivery devices</i>	N
78	Matias e Rao (2015)	<i>3D printing: On its historical evolution and the implications for business</i>	S
79	Meisel et al. (2016)	<i>Decision support for additive</i>	S

		<i>manufacturing deployment in remote or austere environments</i>	
80	Mellor, Hao e Zhang (2014)	<i>Additive manufacturing: A framework for implementation</i>	S
81	Minetola e Eyers (2017)	<i>Additive Manufacturing as a Driver for the Sustainability of Short-Lifecycle Customized Products: the Case Study of Mobile Case Covers</i>	N
82	Minguella-Canela et al. (2017)	<i>Comparison of production strategies and degree of postponement when incorporating additive manufacturing to product supply chains</i>	S
83	Mohr e Khan (2015)	<i>3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future</i>	N
84	Montes (2016)	<i>Impacts of 3D printing on the development of new business models</i>	S
85	Moradlou e Backhouse (2016)	<i>An investigation into re-shoring decision: Case study approach</i>	S
86	Muir e Haddud (2018)	<i>Additive manufacturing in the mechanical engineering and medical industries spare parts supply chain</i>	S
87	Muita, Westerlund e Rajala (2015)	<i>The Evolution of Rapid Production: How to Adopt Novel Manufacturing Technology</i>	N
88	Murmura e Bravi (2017)	<i>Additive manufacturing in the wood-furniture sector: Sustainability of the technology, benefits and limitations of adoption</i>	S
89	Niaki e Nonino (2017)	<i>Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study</i>	S
90	Nyamekye et al. (2015)	<i>Overview of sustainability studies of CNC machining and LAM of stainless steel</i>	N
91	Oettmeier e Hofmann (2016)	<i>Impact of additive manufacturing technology adoption on supply chain management processes and components</i>	S
92	Oettmeier e Hofmann (2017)	<i>Additive manufacturing technology adoption: an empirical analysis of general and supply chain-related determinants</i>	S
93	Peng et al. (2018)	<i>Sustainability of Additive Manufacturing: an overview on its energy demand and environmental impact</i>	N
94	Pilkington, Frandsen e Rehnberg (2015)	<i>Beyond the obvious: A framework for exploiting the impact of 3D printing</i>	N

95	Portolés et al. (2016)	<i>A qualification procedure to manufacture and repair aerospace parts with electron beam melting</i>	N
96	Pour et al. (2015)	<i>An economic insight into additive manufacturing system implementation</i>	S
97	Pour et al. (2016)	<i>Additive Manufacturing Impacts on Productions and Logistics Systems</i>	N
98	Ratnayake (2016)	<i>Making sense of 3D printing/additive layer manufacturing in offshore petroleum industry: State of the art</i>	N
99	Rayna e Striukova (2016)	<i>From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation</i>	N
100	Rehnberg e Ponte (2018)	<i>From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains</i>	N
101	Rogers, Baricz e Pawar (2016)	<i>3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda</i>	N
102	Romero e Vieira (2016)	<i>How additive manufacturing improves product lifecycle management and supply chain management in the aviation sector?</i>	N
103	Romero-Torres e Vieira (2016)	<i>Is 3D printing transforming the project management function in the aerospace industry?</i>	N
104	Ryan, Schwerdtfeger e Rodermann (2016)	<i>Establishment of a competitive additive manufacturing workshop</i>	N
105	Rylands et al. (2016)	<i>The adoption process and impact of additive manufacturing on manufacturing systems</i>	S
106	Sasson e Johnson (2016)	<i>The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations</i>	N
107	Schniederjans (2017)	<i>Adoption of 3D-printing technologies in manufacturing: A survey analysis</i>	S
108	Schröder, Falk e Schmitt (2015)	<i>Evaluation of Cost Structures of Additive Manufacturing Processes Using a New Business Model</i>	S
109	Scott e Harrison (2015)	<i>Additive Manufacturing in an End-to-End Supply Chain Setting</i>	N
110	Shah et al. (2017)	<i>Contribution of Additive Manufacturing Systems to Supply Chain</i>	N
111	Shi et al. (2004) EXCLUÍDO	<i>Application software system based on direct slicing for rapid prototyping</i>	N
112	Shouche et al. (2016)	<i>Supply chain operations reference</i>	S

		<i>model for U.S. based powder bed metal additive manufacturing processes</i>	
113	Simons (2018)	<i>Additive manufacturing-a revolution in progress? Insights from a multiple case study</i>	N
114	Sirichakwal e Conner (2016)	<i>Implications of Additive Manufacturing for Spare Parts Inventory</i>	N
115	Sisca et al. (2016)	<i>Additive manufacturing as a strategic tool for industrial competition</i>	N
116	Spalt e Bauernhansl (2016)	<i>A Framework for Integration of Additive Manufacturing Technologies in Production Networks</i>	N
117	Steenhuis e Pretorius (2016)	<i>Consumer additive manufacturing or 3D printing adoption: An exploratory study</i>	S
118	Strange e Zucchella (2017)	<i>Industry 4.0, global value chains and international business</i>	N
119	Strong et al. (2018)	<i>Hybrid manufacturing - integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain</i>	Y
120	Strong et al. (2017)	<i>Current state and potential of additive - hybrid manufacturing for metal parts</i>	N
121	Sun e Zhao (2017)	<i>Envisioning the era of 3D printing: a conceptual model for the fashion industry</i>	N
122	Sun et al. (2015)	<i>A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication</i>	N
123	Tang, Mak e Zhao (2016)	<i>A framework to reduce product environmental impact through design optimization for additive manufacturing</i>	N
124	Tatham, Loy e Peretti (2015)	<i>Three dimensional printing - a key tool for the humanitarian logistician?</i>	S
125	Thomas (2016)	<i>Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective</i>	N
126	Tuck e Hague (2006)	<i>The pivotal role of rapid manufacturing in the production of cost-effective customised products</i>	N
127	Tuck, Hague e Burns (2007)	<i>Rapid manufacturing: Impact on supply chain methodologies and practice</i>	N
128	Verhoef et al. (2018)	<i>The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach</i>	N
129	Vinodh et al. (2009)	<i>Agility through rapid prototyping</i>	S

		<i>technology in a manufacturing environment using a 3D printer</i>	
130	Wagner e Walton (2016)	<i>Additive manufacturing's impact and future in the aviation industry</i>	S
131	Weller, Kleer e Piller (2015)	<i>Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited</i>	N
132	Wirth e Thiesse (2014)	<i>Shapeways and the 3D printing revolution</i>	N
133	Woodson (2015)	<i>3D printing for sustainable industrial transformation</i>	N
134	Zanardini et al. (2015)	<i>Benefits and costs of additive manufacturing applications: An evaluation guideline</i>	S
135	Zanardini et al. (2016)	<i>Additive Manufacturing applications in the domain of Product Service System: an empirical overview</i>	N
136	Zanetti et al. (2015)	<i>The Role of Additive Manufacturing in the B2C Value Chain: Challenges, Opportunities and Models</i>	N
137	Zanetti, Cavalieri e Pezzotta (2016)	<i>Additive Manufacturing and PSS: a Solution Life-Cycle Perspective</i>	N
138	Zeltmann et al. (2016)	<i>Manufacturing and Security Challenges in 3D Printing</i>	N
139	Zhang e Wang (2017)	<i>Patient Decision Making for Traditional vs. 3D Printing-Based Meniscus Transplantation</i>	N
140	Zhang, Zhang e Han (2017)	<i>Research on manufacturability optimization of discrete products with 3D printing involved and lot-size considered</i>	N

Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE C – RESUMO DOS RESULTADOS DO PAINEL DE
ESPECIALISTAS

Quadro - Resumo dos resultados do painel de especialistas

Nº	Impactos da adoção da MA	Pesquisadores								TOTAL
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	
1	Apoia a manufatura enxuta	AC	EC1/PV1	AC	EC	AC2/RC1/EC1	RC	EC/PV	AC	AC5/EC4
2	Ciclo de vida do produto	PV	AC1/RC1/PV2	AC	PV	RL2/FR1	PV	CD/PC/AC	FR	PV5/AC3
3	Colaboração com fornecedores	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC	PC8
4	Competitividade	PV	EC1/PV2	Outros	FR	Outros	PV	PV/SC	PV/FR	PV6
5	Complexidade da CS	CD	PC	PC	PC2/CD1	PC2/RL1/SC1	PC	EC/PC	PC	PC8
6	Complexidade da produção	AC	EC1	AC	AC	AC2/RC1/EC1	AC	EC/RC	AC/RC	AC7
7	Complexidade do produto	PV	PV2/RL1	PV	PV	PV	PV	PV/SC	PV	PV9
8	Confiabilidade da empresa	PV	PV2	PV	PC1/RL2/SC1	PV	RL	PV/EC/RL	PV	PV7/RL4
9	Controle da qualidade	AC	AC2	AC	AC2/PV1	AC	AC	AC/RC/PV	AC/RC/EC	AC9
10	Customização em massa	PV	PV2	PV	PV2/RL1	PV2/RL1/CD1/SC1/FR1	PV	PC/PV/CD	PV/RL	PV10
11	Custos	EC	EC2/PV1	EC	EC	EC2/FR1	PV	SC/RL	EC	EC8
12	Democratização da produção	AC	PV2/FR1	Outros	EC2/FR1	PV2/RL1/CD1/SC1/FR1	CD	AC	SC	PV4/FR3
13	Dependência com o fornecedor	PC	PC2	PC	PC	AC	PC	PC/RL	PC	PC8
14	Descentralização da CS	CD	PC1/PV1/RL2	PC	PC1/CD2	PC2/RL1/SC1	PC	PC/EC/AC	PC	PC8
15	Digitalização do produto	AC	PC1/AC1/RC1/PV2/RL1	AC	RL2/SC1	Todos	AC	AC/RC	-	AC6/RL4
16	Eficiência da produção	AC	AC2	AC	AC2/RC1	RC2/EC1	AC	EC/PV	EC	AC7
17	Eficiência de inventário	AC	AC2/EC2	AC	RC1/EC2	PV2/AC1/EC1	CD	EC/PV	AC/EC	EC7/AC6
18	Eficiência logística	CD	AC1/EC2/RC1	AC	CD	EC2/PV1/CD1	CD	PC/CD/EC	PV	EC5/CD5
19	Flexibilidade da CS	CD	PC1/RC1/PV2	PC	PC2/CD1	PC2/RL1/SC1	PC	PC/CD/RC	PC	PC9
20	Flexibilidade da produção	AC	AC1/PV2	AC	AC	AC2/RC1/EC1	RC	SC/FR	PV	AC6
21	Fluxo de informação	AC	PC1/AC2	Todos	AC	AC	AC	RC/RL/CD	AC	AC8
22	Impacto ambiental	PV	RC1/PV2	PV	PV2/SC1	PV2/AC1/SC1/EC1/FR1	Outros	PV/SC/PC	PV/EC	PV10
23	Integração dos departamentos	AC	AC2	Todos	AC	AC	AC	EC/AC	AC	AC9
24	Interação com cliente/consumidor	RL	RL2/CD1	AC	PV2/RL1	RL	PV	RL/AC	RL	RL7
25	Liberdade de <i>design</i>	AC	AC1/PV2	PV2/AC1/RL1	PV2/RL1	PV2/AC1/RL1/SC1/EC1/FR1	PV	RL/SC	AC/PV/EC	PV10/AC5
26	Peso do produto	PV	PV2	PV	PV	PV2/SC1	PV	CD	EC	PV
27	Qualidade do produto/serviço	PV	AC1/PV2	PV	PV	PV	PV	AC/RC/PV	PV	PV9
28	Qualificação dos trabalhadores	RC/AC	RC	RC	RC1/EC2	AC2/EC1	RC	AC/RC	RC	RC7/AC4
29	Quantidade de trabalhadores/trabalho	RC/AC	RC	RC	RC2/EC1	AC2/RC1/EC1	RC	EC	AC/EC	RC7/AC4/EC4
30	Responsividade	PV	PV2	PV	PV2/RL1	PV	SC	PC/PV	PV	PV9
31	Risco do negócio	Outros	PC1/EC2/RL1/FR1	Todos 2/FR1	EC	Outros	EC	EC	EC	EC7
32	Saúde e segurança	RC	RC	Outros	RC	AC2/EC1	RC	EC	RC	RC5
33	Servitização	PV	PC1/AC1/RC1/PV2/RL1/FR1	PV2/AC1	PV2/RL1	Todos	PV	FR/SC	PV/FR	PV8/FR5
34	Tamanho do produto	PV	PV2	PV	PV	PV2/SC1	PV	EC/AC	PV/FR	PV9
35	Terceirização	PC	PC	PC	AC	PC	EC	RC	AC	PC4
36	Valor do produto	PV	EC1/PV2/FR1	PV	PV2/FR1	PV	PV	PV	PV/FR	PV10
37	Variedade do produto	PV	PV2	PV	PV	PV2/SC1	SC	SC/FR	PV	PV8
38	Vendas	FR	SC1/FR2	CD	FR	SC2/OUTROS1	EC	FR	FR	FR6/SC3

Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE D - GUIA DE ENTREVISTA

Guia de Entrevista

Impactos da manufatura aditiva no modelo de negócio

Por Denise Franco (denisefranco@ufscar.br)

Estudante de doutorado em Engenharia de Produção

Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil

Estagiária convidada da *Business School* da *Université de Sherbrooke* - Canadá

Sob a orientação do Professor Dr. Gilberto Miller Devós Ganga (ganga@dep.ufscar.br)

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil

Sob a co-orientação do Professor Ph.D. Luis Antonio de Santa-Eulalia (L.Santa.Eulalia@USherbrooke.ca)

Business School da *Université de Sherbrooke* - Canadá

Atualizado em 07 de janeiro de 2019

Introdução

A principal proposta dessa pesquisa é explorar os impactos da manufatura aditiva (MA) no modelo de negócio, e as motivações e limitações da sua adoção.

A MA é popularmente conhecida como impressão 3D e é definida como o processo de construção realizado pela adição de camada sobre camada de material até a produção do produto final. As questões a seguir são sobre a sua empresa, os processos de negócios, os impactos da adoção da MA, e motivações e limitações para a sua adoção.

Essa entrevista será gravada ou não, dependendo da sua resposta no Formulário de Consentimento.

Nem todas as perguntas precisam ser respondidas, você poderá decidir quais são mais convenientes para serem respondidas.

Se você tiver qualquer dúvida, fique à vontade em interromper a qualquer momento para fazer perguntas.

Informações do entrevistado

Informações do entrevistado

IE1	Nome completo do entrevistado.
IE2	Posição do entrevistado na empresa.
IE3	Contatos profissionais do entrevistado (telefone, e-mail).
IE4	Quanto tempo você está na empresa?
IE5	Quanto tempo você está nessa posição?
IE6	Qual é sua relação com as atividades de manufatura aditiva (MA)?

Informações da empresa – Modelo de Negócio

MN1	Nome da empresa.
MN2	Website da empresa.
MN3	Indústria e setor da empresa.
MN4	Principais produtos/serviços da empresa.
MN5	Missão da empresa.

MN6	Valores da empresa.
MN7	Visão da empresa.
MN8	Você poderia falar sobre o(s) processo(s) de manufatura da empresa?
MN9	Quantos funcionários a empresa e/ou essa sede tem?
MN10	Você poderia falar em geral sobre os funcionários da empresa? Especifique as formações, tempo que estão na empresa, tempo nesta posição, etc.
MN11	Você poderia falar sobre os principais fornecedores da empresa?
MN12	Você poderia falar sobre os principais mercados da empresa (internos e externos)?
MN13	Qual foi a receita anual bruta da empresa no ano passado? Ou em qual categoria se encaixa a receita anual bruta da empresa no ano passado? <ul style="list-style-type: none"> • Menos de R\$360.000,00; • Entre R\$360.000,01 e R\$3,6 milhões; • Entre R\$3,6 milhões e R\$300 milhões ou • Mais de R\$300 milhões.

Impactos da Manufatura Aditiva

MA1	Quem é o principal responsável pelos projetos de MA na sua empresa? Especifique a formação, tempo que está empresa, posição, tempo nesta posição, etc.
MA2	Quanto tempo sua empresa tem investido e/ou implementado MA? Sempre foi usada para o mesmo propósito (prototipagem, ferramental ou manutenção rápida, produto final)?
MA3	Quais são os tipos de impressoras 3D usadas pela sua empresa?
MA4	Quais são as matérias-primas usadas na MA da sua empresa?
MA5	Você pode falar sobre os processos relacionados à MA? Em quais processos da empresa a MA é utilizada?
Categorias MN Canvas	Questões
PV1	Quais e como são os produtos produzidos com a MA? (formatos complexos, baixo volume, múltiplas peças em uma, leves, etc)
PV2	Você acha que a proposta de valor (conjunto de produtos e serviços) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
PV/AC1*	O que aconteceu com o ciclo de vida do produto/peça após começar a ser fabricado com MA? (Todas as etapas: prototipagem, duração da peça, etc.) Como? Por quê?
PV3**	Com a adoção da MA, os produtos podem ter formatos mais complexos? O que você pode dizer sobre isso?

PV4*	O que aconteceu com o tamanho após começar a ser fabricado com MA? Como? Por quê?
PV5*	O que aconteceu com o peso dos produtos após começar a ser fabricado com MA? Como? Por quê?
PV6**	Com a adoção da MA, há um aumento da capacidade de customização em massa? O que você pode dizer sobre isso?
PV7**	Com a adoção da MA, há um aumento da variedade dos produtos aumenta com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?
PV/FR1*	O que aconteceu com a servitização (conjunto produto/serviço) da empresa após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV8*	O que aconteceu com o valor do produto após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV9*	O que aconteceu com a qualidade do produto/serviço após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC1*	O que aconteceu com o controle e garantia da qualidade após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC/RL*	O que aconteceu com a digitalização do produto após a adoção da MA? Como? Por quê?
GI/AC	Você acha que as atividades-chave (competências necessárias) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
PV/AC2**	A liberdade no <i>design</i> do produto aumenta com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?
AC2*	O que aconteceu com a flexibilidade da produção após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC3**	A complexidade da produção diminui com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?
RC*	O que aconteceu com a saúde e segurança das pessoas envolvidas após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC4*	O que aconteceu com a integração dos departamentos após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC5	O que aconteceu com o fluxo de informação após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC/EC1*	O que aconteceu com a manufatura enxuta após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC6**	A eficiência da produção aumenta com a adoção da MA?

	O que você pode dizer sobre isso?
PV/FR2	O que aconteceu com a democratização da produção após a adoção da MA? Como? Por quê?
GI/RC	Você acha que os recursos-chave (arranjo das atividades e recursos) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
AC/EC2*	O que aconteceu com a eficiência do inventário após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC/RC/EC*	O que aconteceu com a quantidade de trabalhadores e trabalho após a adoção da MA? Como? Por quê?
AC/RC*	O que aconteceu com a qualificação dos funcionários após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV10**	O impacto ambiental diminuiu com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?
GI/PC	Você acha que os parceiros-chave (fornecedores) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
PC1*	O que aconteceu com a terceirização após a adoção da MA? Como? Por quê?
PC2*	O que aconteceu com a dependência com os fornecedores após a adoção da MA? Como? Por quê?
PC3*	O que aconteceu com a colaboração com os fornecedores após a adoção da MA? Como? Por quê?
IC/SC	Você acha que os segmentos de clientes da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
SC/FR*	O que aconteceu com as vendas após a adoção da MA? Como? Por quê?
IC/CD	Você acha que o canal de distribuição (meios de chegar/atingir o cliente) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
PC4*	O que aconteceu com a complexidade da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?
PC5*	O que aconteceu com a descentralização da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?
PC6*	O que aconteceu com a flexibilidade da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?
CD/EC*	O que aconteceu com a eficiência logística após a adoção da MA? Como? Por quê?

IC/RL	Você acha que o relacionamento (tipo de relações com o cliente) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
RL*	O que aconteceu com a interação com clientes/consumidores após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV/RL*	O que aconteceu com a confiabilidade da empresa após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV11*	O que aconteceu com a responsividade dos processos após a adoção da MA? Como? Por quê?
AF/EC	Você acha que a estrutura de custos da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
EC1*	O que aconteceu com os custos da empresa após a adoção da MA? Como? Por quê?
AF/FR	Você acha que as fontes de receitas (meios de ganhar dinheiro) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?
EC2*	O que aconteceu com o risco do negócio após a adoção da MA? Como? Por quê?
PV12*	O que aconteceu com a competitividade após a adoção da MA? Como? Por quê?
GERAL	Você acrescentaria outros impactos da adoção da MA? Quais? O que você pode dizer sobre eles?

Motivações e Limitações da adoção da MA

Motivações	
Mot	Quais foram/são as motivações para a adoção da MA? Por quê? Como?
MotO/V*	A observabilidade/visibilidade é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
MotC/EE*	A redução da complexidade/expectativa de esforço é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
MotT*	A vontade de testar/experimentar é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
MotIS*	A influência social é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
MotVR/E D**	A vantagem relativa/expectativa de desempenho é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
MotC/FC*	A compatibilidade/condições facilitadoras é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?

Limitações	
Lim	Quais foram/são as limitações para a adoção da MA? Por quê? Como?
LimO/V*	A falta de observabilidade/visibilidade é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?
LimT*	A falta de vontade de testar/experimentar é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?
LimC/EE*	O aumento da complexidade/expectativa de esforço é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?
LimIS*	A falta de influência social é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?
LimVR/E D**	A falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?
LimC/CF*	A compatibilidade/condições facilitadoras é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?

Observação:

Pilar	Blocos de construção do modelo de negócios	Descrição
Produto	Proposta de valor	Fornecer uma visão geral do conjunto de produtos e serviços de uma empresa
Interface com o cliente	Cliente-alvo	Descreve o segmento de clientes para o qual uma empresa quer oferecer valor
	Canal de distribuição	Descreve os vários meios que a empresa utiliza para entrar em contato com o cliente
	Relacionamento	Explica o tipo de relações que uma empresa estabelece com diferentes segmentos de clientes
Gestão da infraestrutura	Configuração de valor	Descreve o arranjo das atividades e recursos
	Competência essencial	Descreve as competências necessárias para executar o modelo de negócio da empresa
	Cadeia de parceiros	Retrata a rede de acordos de cooperação com outras empresas, necessária para oferecer e comercializar com eficiência
Aspectos financeiros	Estrutura de custos	Resume as consequências monetárias dos meios empregados no modelo de negócio
	Modelo de receita	Descreve a maneira de a empresa ganhar dinheiro por meio de uma variedade de fluxos de receitas

APÊNDICE E - CARTA DE AUTORIZAÇÃO (PORTUGUÊS E INGLÊS)

AUTHORIZATION LETTER

Your company is invited to participate in a research study. This document describes the study procedures. To take part in the study, you must mark the field “yes” and sign the authorization section at the end of this document. A signed and dated copy will be returned to you. Please take all the time you need to make your decision. **The person from your company who agrees to participate of the interview must also sign a distinct individual consent letter.**

Research Study Title

Impacts of additive manufacturing in business model.

Researcher Responsible for the Research Study

Denise Franco, Ph.D. candidate in Industrial Engineering of Federal University of São Carlos – Brazil and Intern at the Department of Management of Université de Sherbrooke. For more information, you may contact the researcher by phone at (819) 588-7847 or by email at denisefranco@ufscar.br.

Under co-supervision of Ph.D. Luis Antonio of Santa Eulalia, professor at the Department of Management of Université de Sherbrooke. For more information, you may contact the researcher by phone at 819-821-8000 (1 800-267-8337) extension #65042 or by email at L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca.

Under supervision of Ph.D. Gilberto Miller Devós Ganga, professor at the Department of Production Engineering of Federal University of São Carlos – Brazil. For more information, you may contact the researcher by phone at +55 16-3351-9535 or by email at ganga@dep.ufscar.br.

Funding of the Research Study

The researcher responsible for this study received funding from Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP – Canada) and *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES - Brazil) to carry out this study. Funds received cover the costs of this research project.

Purpose of the Research Study

The purpose of this study is to explore the impacts of additive manufacturing (or 3d printing) in business model of Brazilians and Canadians enterprises.

Description of the Research Procedures

We invite one of your company’ employee to take part in this research study because we are selecting professionals who work in additive manufacturing process. His/her

participation in this project will be required for an interview of approximately 1 hour and 30 minutes. This interview will take place at his/her convenience, depending on his/her availability. He/She will answer questions about your company and additive manufacturing applied in its production process. Therefore, this employee must have a good knowledge of the additive manufacturing's application as well as the company's business model. If you think more than one employee should be invited to participate in the interview, please let us know by sending an email to the main researcher. This interview will be audio-recorded for better data accuracy.

Potential Benefits

By participating in this project, you and your company will contribute to the advancement of knowledge in the field of additive manufacturing and business model. You will not receive any direct material or financial benefits from your participation in this research project. However, the research will help to better understand the impact of additive manufacturing in business model.

Potential Risks

The sole significant inconvenience of the employee participation is the dedicated time for the interview. He/She may ask to take a break or to continue the interview at a more convenient time.

Voluntary Participation and the Right to Withdraw

The employee participation in this research project is voluntary. Therefore, you may refuse to participate. You may also withdraw from the project at any time, without giving any reason, by informing a member of the research team.

If your company wishes to withdraw from the study, do you ask that the audio or written documents pertaining to you be destroyed?

Yes

No

Initials of the company representative_____

In this eventuality, the researcher will validate your preferences regarding data destruction.

Any new findings that could influence your decision to stay in the research project will be shared with you as soon as possible.

Confidentiality

All the information collected during the research project will remain confidential to the extent provided by law. The employee and the company will only be identified by a code number. The researcher responsible for this study will keep the key to the code linking enterprise name to its study file.

The study data will be stored for 5 years by the researcher responsible for this study for research purposes as described in this information and authorization letter.

The data may be published or shared during scientific meetings; however, it will not be possible to identify the interviewer and the company.

For monitoring and control, your study file may be examined by a person mandated by regulatory authorities, as well by representatives of the funding agency, the institution, or the Research Ethics Board. All these individuals and organizations adhere to policies on confidentiality.

Study Results

If you wish to receive a summary of the study results, please provide an address.

Email address: _____

Contact Information

If you have questions or if you have a problem you think may be related to the enterprise in this research study, or if you would like to withdraw, you may communicate with the researcher responsible of this research study or with someone on the research team at the following numbers or by address email at:

Denise Franco (819) 588-7847 or denisefranco@ufscar.br

Luis Antonio de Santa-Eulalia (819) 821-8000 (or toll free at 1-800-267-8337) #65042 or L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca

Gilberto Miller Devós Ganga +55 (16) 3351-9535 or ganga@dep.ufscar.br

Approval by the Ethics Committee of Research

The Research Ethics Board of the Université de Sherbrooke (CÉR Lettres et Sciences Humaines) approved this research and is responsible for the monitoring of the study.

For any question concerning your rights as a research participant taking part in this study, or if you have comments, or wish to file a complaint, you may communicate with the Research Ethics Board at the following phone number 819-821-8000 (or toll free at 1-800-267-8337) extension 62644, or by email at cer_lsh@USherbrooke.ca.

Signature of person representing the company

I had reviewed the information and authorization letter. The research study and the information and authorization letter were explained to me. My questions were answered, and It was given sufficient time to make a decision. After reflection, I consent an employee to participate in this research study in accordance with the conditions stated above.

Yes

No

Name of participant

Signature

Date

Commitment of the Researcher Responsible for the Research Study

I certify that this information and authorization letter were explained to the research participant, and that the participant questions were answered.

I undertake, together with the research team, to respect what was agreed upon in the information and authorization letter, and to give a signed and dated copy of this form to the research participant.

Name of the Researcher Responsible

Signature

Date

CARTA DE INFORMAÇÃO E AUTORIZAÇÃO

Sua empresa está convidada a participar de um projeto de pesquisa. Esse documento descreve os procedimentos do estudo. Fique à vontade em fazer perguntas sobre quaisquer palavras ou parágrafos que não entender. Para participar do estudo, você deve marcar o campo “sim” e assinar a seção de autorização no fim deste documento. Uma cópia assinada e datada será entregue a você. Por favor, leve o tempo necessário para fazer sua decisão. **A pessoa da empresa que concordar em participar da entrevista deve também assinar um formulário de consentimento individual.**

Título do Projeto de Pesquisa

Impactos da manufatura aditiva nos modelos de negócios.

Pesquisadores Responsáveis pelo Projeto de Pesquisa

Denise Franco, estudante de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil e estagiária convidada no *Business School* da *Université de Sherbrooke* - Canadá. Para mais informações, você pode contatar a pesquisadora pelo telefone (16) 99714-1822 ou pelo e-mail denisefranco@ufscar.br.

Sob a supervisão do professor Dr. Gilberto Miller Devós Ganga do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil. Para mais informações, você pode contatar o professor pelo telefone (16) 3351-9535 ou pelo e-mail ganga@dep.ufscar.br.

Sob a co-supervisão do professor Ph.D. Luis Antonio de Santa-Eulalia da *Business School* da *Université de Sherbrooke* - Canadá. Para mais informações, você pode contatar o professor pelo telefone +1 819-821-8000 (1 800-267-8337) extensão #65042 ou pelo e-mail L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca.

Financiamento do Projeto de Pesquisa

A pesquisadora responsável pelo estudo recebeu financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Brasil) e do *Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP)* - Canadá para realizar este estudo. Os fundos recebidos cobrem os custos deste projeto de pesquisa.

Objetivo da Proposta de Pesquisa

O objetivo da proposta de pesquisa é explorar os impactos da manufatura aditiva (ou impressão 3D) nos modelos de negócios de empresas.

Descrição dos Procedimentos de Pesquisa

Nós convidamos um colaborador da sua empresa a fazer parte deste projeto de pesquisa, pois estamos selecionando profissionais que trabalham com o processo de manufatura aditiva. A participação neste projeto contará com uma entrevista de aproximadamente 1 hora e 30 minutos. Essa entrevista ocorrerá no local de conveniência dele, dependendo

da disponibilidade. Ele responderá questões sobre a empresa e a manufatura aditiva utilizada nos processos de fabricação. Portanto, o colaborador participante deve ter um bom conhecimento da aplicação da manufatura aditiva bem como o modelo de negócio da empresa. Se você acha que mais de um funcionário deve ser convidado a participar da entrevista, informe-nos enviando um e-mail para o pesquisador principal. Essa entrevista poderá ser áudio-gravada para melhor precisão dos dados, dependendo da permissão do entrevistado.

Potenciais Benefícios

Com a participação nesse projeto, você irá contribuir com o avanço do conhecimento na área de manufatura aditiva e modelo de negócio. Você não receberá qualquer benefício material ou financeiro pela sua participação na pesquisa. Contudo, a pesquisa ajudará a entender melhor o impacto da manufatura aditiva nos modelos de negócios.

Potenciais Riscos

O único inconveniente da participação do colaborador na pesquisa é o tempo dedicado para a entrevista. Se necessário, ele(a) poderá ter um intervalo ou interromper a entrevista para continuarmos em outro momento mais conveniente.

Participação Voluntária e Direito de Desistência

A participação do colaborador no projeto de pesquisa é voluntária. Assim sendo, você e ele podem não aceitar participar. Vocês podem desistir do projeto a qualquer momento, sem dar nenhuma razão, informando um membro do grupo de pesquisa.

Se a sua empresa desejar desistir do estudo, você quer que o áudio ou os documentos escritos referentes ao entrevistado e à empresa sejam destruídos?

Sim

Não

Iniciais do representante da empresa _____

Assim sendo, a pesquisadora validará suas preferências em relação à destruição dos dados.

Quaisquer novas descobertas que possam influenciar sua decisão de permanecer no projeto de pesquisa serão compartilhadas com você o mais breve possível.

Confidencialidade

Todas as informações coletadas durante o projeto de pesquisa permanecerão confidenciais conforme previsto pela lei. O colaborador e a empresa serão identificados apenas por um código. A pesquisadora responsável pelo estudo manterá o código correspondente ao nome da empresa no arquivo do estudo.

Os dados do estudo serão estocados por 5 anos pela pesquisadora responsável para propósitos de pesquisa.

Os dados podem ser publicados ou compartilhados durante encontro científicos; contudo, não será possível identificar o entrevistado e a empresa.

Para monitoramento e controle, seu arquivo pode ser examinado por uma pessoa enviada pelas autoridades reguladoras, bem como por representantes das agências de financiamento, das universidades ou do Comitê de Ética em Pesquisa. Todas essas pessoas e organizações aderem às políticas de confidencialidade.

Resultados do Estudo

Se você deseja receber um resumo dos resultados do estudo quando eles estiverem completos, por favor forneça um endereço de e-mail.

E-mail: _____

Informação de Contato

Se você tem perguntas ou um problema que acha que pode relatar da sua participação nesse projeto de pesquisa ou se gostaria de desistir, você pode comunicar a pesquisadora responsável ou alguém do grupo de pesquisa nos seguintes telefones ou endereços de e-mails:

Denise Franco: (16) 99714-1822 ou denisefranco@ufscar.br

Gilberto Miller Devós Ganga (16) 3351-9535 ou ganga@dep.ufscar.br

Luis Antonio de Santa-Eulalia +1 (819) 821-8000 (ou 1-800-267-8337) extensão #65042 ou L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa

O Comitê de Ética em Pesquisa da *Université de Sherbrooke* (*Comité d'éthique de la recherche - CÉR Lettres et Sciences Humaines*) aprovou essa pesquisa e é responsável por monitorar o estudo.

Para qualquer dúvida sobre seus direitos como participante na pesquisa ou se você tiver comentários ou desejar apresentar uma queixa, você pode se comunicar com o Comitê de Ética em Pesquisa no seguinte telefone +55 819-821-8000 (ou 1-800-267-8337) extensão #62644, ou pelo e-mail cer_lsh@USherbrooke.ca.

Assinatura do Representante da Empresa

Eu li a Carta de Informação e Autorização. Ambos, a proposta de pesquisa e a Carta de Informação e Autorização foram explicados. Minhas dúvidas foram esclarecidas e me foi dado tempo suficiente para fazer a decisão. Após reflexão, eu consinto um colaborador da empresa participar da pesquisa de acordo com as condições indicadas acima.

Sim

Não

Nome do representante da empresa

Assinatura

Data

Compromisso da Pesquisadora Responsável pela Proposta de Pesquisa

Eu certifico que essa Carta de Informação e Autorização foi explicada ao representante da empresa e suas dúvidas foram esclarecidas.

Eu me comprometo, junto com o grupo de pesquisa, a respeitar o que foi acordado neste documento e a entregar/enviar uma cópia assinada e datada deste formulário ao representante da empresa.

Nome da Pesquisadora Responsável

Assinatura

Data

APÊNDICE F - FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO (INGLÊS E
PORTUGUÊS)

INFORMATION AND CONSENT FORM

You are invited to participate in a research study. This document describes the study procedures. Feel free to ask questions about any words or paragraphs you do not understand. To take part in the study, you must mark the field “yes” and sign the consent section at the end of this document. A signed and dated copy will be returned to you. Please take all the time you need to make your decision.

Research Study Title

Impacts of additive manufacturing in business model.

Researcher Responsible for the Research Study

Denise Franco, Ph.D. candidate in Industrial Engineering of Federal University of São Carlos – Brazil and Invited intern at the Business School of Université de Sherbrooke. For more information, you may contact the researcher by phone at 819-588-7847 or by email at denisefranco@ufscar.br.

Under co-supervision of Ph.D. Luis Antonio of Santa Eulalia, professor at the Business School of Université de Sherbrooke. For more information, you may contact the researcher by phone at 819-821-8000 (1 800-267-8337) extension #65042 or by email at L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca.

Under supervision of Ph.D. Gilberto Miller Devós Ganga, professor at the Department of Production Engineering of Federal University of São Carlos – Brazil. For more information, you may contact the researcher by phone at +55 16-3351-9535 or by email at ganga@dep.ufscar.br.

Funding of the Research Study

The researcher responsible for this study received funding from Emerging Leaders in

the Americas Program (ELAP - Canada) and *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES - Brazil) to carry out this study. Funds received cover the costs of this research project.

Purpose of the Research Study

The purpose of this study is to explore the impacts of additive manufacturing (or 3d printing) in business model of Brazilians and Canadians enterprises.

Description of the Research Procedures

You are invited to take part in this research study because we are selecting professionals that work in additive manufacturing process. Your participation in this project will be required for an interview of approximately 1 hour and 30 minutes. This interview will take place at your convenience, depending on your availability. You will answer questions about your company and of additive manufacturing applied in its production process. Can the interview be audio-recorded to have better data accuracy?

Yes

No

Participant's initials _____

Potential Benefits

By participating in this project, you will contribute to the advancement of knowledge in the field of additive manufacturing and business model. You will not receive any direct material or financial benefits from your participation in this research project. However, the research will help to better understand the impact of additive manufacturing in business model.

Potential Risks

The sole significant inconvenience of your participation is the dedicated time for the interview. You may ask to take a break or to continue the interview at a more convenient time.

Voluntary Participation and the Right to Withdraw

Your participation in this research project is voluntary. Therefore, you may refuse to participate. You may also withdraw from the project at any time, without giving any reason, by informing a member of the research team.

If you withdraw from the study, do you ask that the audio or written documents pertaining to you be destroyed?

Yes No Participant's initials _____

In this eventuality, the researcher will validate your preferences regarding data destruction.

Any new findings that could influence your decision to stay in the research project will be shared with you as soon as possible.

Confidentiality

During your participation in this study, the researcher responsible and the research team will collect and record information about you and your company in a study file. They will only collect information required to meet the scientific goals of the study.

The research file may include information such as your name, position in the company, your seniority in the position and in the company, audio recording of the interview that you will undergo during this research project.

All the information collected during the research project will remain confidential to the extent provided by law. You and the company will only be identified by a code number. The researcher responsible for this study will keep the key to the code linking your name to your study file.

The study data will be stored for 5 years by the researcher responsible for this study for research purposes as described in this information and consent form.

The data may be published or shared during scientific meetings; however, it will not be possible to identify you and the company.

For monitoring and control, your study file may be examined by a person mandated by regulatory authorities, as well as by representatives of the funding agency, the institution, or the Research Ethics Board. All these individuals and organizations adhere to policies on confidentiality.

You have the right to consult your study file in order to verify the information gathered, and to have it corrected if necessary.

Study Results

If you wish to receive a summary of the study results when they are completed, please provide an address.

Email address: _____

Contact Information

If you have questions or if you have a problem you think may be related to your participation in this research study, or if you would like to withdraw, you may communicate with the researcher responsible of this research study or with someone on the research team at the following numbers or by address email at:

Denise Franco (819) 588-7847 or denisefranco@ufscar.br

Luis Antonio de Santa-Eulalia (819) 821-8000 (or toll free at 1 800 267-8337) extension 65042 or L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca

Gilberto Miller Devós Ganga +55 (16) 3351-9535 or ganga@dep.ufscar.br

Approval of the Research Ethics Board

The Research Ethics Board of the Université de Sherbrooke (CÉR Lettres et Sciences Humaines) approved this research and is responsible for the monitoring of the study.

For any question concerning your rights as a research participant taking part in this study, or if you have comments, or wish to file a complaint, you may communicate with the Research Ethics Board at the following phone number 819-821-8000 (or toll free at 1-800-267-8337) extension 62644, or by email at cer_lsh@USherbrooke.ca.

Signature of the Participant

I have reviewed the information and consent form. Both the research study and the information and consent form were explained to me. My questions were answered, and I was given sufficient time to make a decision. After reflection, I consent to participate in this research study in accordance with the conditions stated above.

Yes

No

Name of participant	Signature	Date
---------------------	-----------	------

Commitment of the Researcher Responsible of the Research Study

I certify that this information and consent form were explained to the research participant, and that the participant questions were answered.

I undertake, together with the research team, to respect what was agreed upon in the information and consent form, and to give a signed and dated copy of this form to the research participant.

Name of the Researcher Responsible	Signature	Date
------------------------------------	-----------	------

FORMULÁRIO DE INFORMAÇÃO E CONSENTIMENTO

Você está convidado a participar de um projeto de pesquisa. Esse documento descreve os procedimentos do estudo. Fique à vontade em fazer perguntas sobre quaisquer palavras ou parágrafos que não entender. Para participar do estudo, você deve marcar o campo “sim” e assinar a seção de consentimento no fim deste documento. Uma cópia assinada e datada será entregue a você. Por favor, leve o tempo necessário para fazer sua decisão.

Título do Projeto de Pesquisa

Impactos da manufatura aditiva nos modelos de negócios.

Pesquisadores Responsáveis pelo Projeto de Pesquisa

Denise Franco, estudante de doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil e estagiária convidada na *Business School* da *Université de Sherbrooke* - Canadá. Para mais informações, você pode contatar a pesquisadora pelo telefone (16) 99714-1822 ou pelo e-mail denisefranco@ufscar.br.

Sob a supervisão do professor Dr. Gilberto Miller Devós Ganga do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – Brasil. Para mais informações, você pode contatar o professor pelo telefone (16) 3351-9535 ou pelo e-mail ganga@dep.ufscar.br.

Sob a co-supervisão do professor Ph.D. Luis Antonio de Santa-Eulalia na *Business School* da *Université de Sherbrooke* - Canadá. Para mais informações, você pode contatar o professor pelo telefone +1 819-821-8000 (1 800-267-8337) extensão #65042 ou pelo e-mail L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca.

Financiamento do Projeto de Pesquisa

A pesquisadora responsável pelo estudo recebeu financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Brasil) e do *Emerging Leaders in the Americas Program (ELAP - Canadá)* para realizar este estudo. Os fundos recebidos cobrem os custos deste projeto de pesquisa.

Objetivo da Proposta de Pesquisa

O objetivo da proposta de pesquisa é explorar os impactos da manufatura aditiva (ou impressão 3D) nos modelos de negócios de empresas.

Descrição dos Procedimentos de Pesquisa

Você está convidado a fazer parte deste projeto de pesquisa, pois nós estamos selecionando profissionais que trabalham com o processo de manufatura aditiva. A participação neste projeto contará com uma entrevista de aproximadamente 1 hora e 30 minutos. Essa entrevista ocorrerá no local de sua conveniência, dependendo da sua disponibilidade. Você responderá questões sobre a empresa e a manufatura aditiva utilizada nos processos de fabricação. A entrevista pode ser áudio-gravada para melhor precisão dos dados?

Sim

Não

Iniciais do participante: _____

Potenciais Benefícios

Com a participação nesse projeto, você irá contribuir com o avanço do conhecimento na área de manufatura aditiva e modelo de negócio. Você não receberá qualquer benefício material ou financeiro pela sua participação na pesquisa. Contudo, a pesquisa ajudará a entender melhor o impacto da manufatura aditiva nos modelos de negócios.

Potenciais Riscos

O único inconveniente da sua participação na pesquisa é o tempo dedicado para a entrevista. Se necessário, você poderá ter um intervalo ou interromper a entrevista para continuarmos em outro momento mais conveniente.

Participação Voluntária e Direito de Desistência

Sua participação no projeto de pesquisa é voluntária. Assim sendo, você pode não aceitar participar. Você pode desistir do projeto a qualquer momento, sem dar nenhuma razão, informando um membro do grupo de pesquisa.

Se você desistir do estudo, você quer que o áudio ou os documentos escritos referentes a você e a empresa sejam destruídos?

Sim

Não

Iniciais do participante: _____

Assim sendo, a pesquisadora validará suas preferências em relação à destruição dos dados.

Quaisquer novas descobertas que possam influenciar sua decisão de permanecer no projeto de pesquisa serão compartilhadas com você o mais breve possível.

Confidencialidade

Durante sua participação no estudo, a pesquisadora responsável e o grupo de pesquisa irão coletar e salvar informações sobre você e a empresa em um arquivo. Eles apenas coletarão informações necessárias para cumprir os objetivos científicos do estudo.

O arquivo pode incluir informações tais como posição na companhia, quanto tempo está na empresa e nessa posição, a áudio-gravação da entrevista, entre outras.

Todas as informações coletadas durante o projeto de pesquisa permanecerão confidenciais conforme previsto pela lei. Você e a empresa serão identificados apenas por um código. A pesquisadora responsável pelo estudo manterá o código correspondente ao nome da empresa no arquivo do estudo.

Os dados do estudo serão estocados por 5 anos pela pesquisadora responsável para propósitos de pesquisa.

Os dados podem ser publicados ou compartilhados durante encontros científicos; contudo, não será possível identificar você e a empresa.

Para monitoramento e controle, seu arquivo pode ser examinado por uma pessoa enviada pelas autoridades reguladoras, bem como por representantes das agências de financiamento, das universidades ou do Comitê de Ética em Pesquisa. Todas essas pessoas e organizações aderem às políticas de confidencialidade.

Você tem o direito de consultar seu arquivo a fim de verificar as informações recolhidas e corrigi-las, se necessário.

Resultados do Estudo

Se você deseja receber um resumo dos resultados do estudo quando eles estiverem completos, por favor forneça um endereço de e-mail.

E-mail: _____

Informação de Contato

Se você tem perguntas ou um problema que acha que pode relatar da sua participação nesse projeto de pesquisa ou se gostaria de desistir, você pode comunicar a pesquisadora responsável ou alguém do grupo de pesquisa nos seguintes telefones ou endereços de e-mails:

Denise Franco (16) 99714-1822 ou denisefranco@ufscar.br

Gilberto Miller Devós Ganga (16) 3351-9535 ou ganga@dep.ufscar.br

LuisAntonio de Santa-Eulalia +1 (819) 821-8000 (ou 1 800 267-8337) extensão #65042 ou L.Santa-Eulalia@USherbrooke.ca

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa

O Comitê de Ética em Pesquisa da *Université de Sherbrooke* (*Comité d'éthique de la recherche - CÉR Lettres et Sciences Humaines*) aprovou essa pesquisa e é responsável

por monitorar o estudo.

Para qualquer dúvida sobre seus direitos como participante na pesquisa ou se você tiver comentários ou desejar apresentar uma queixa, você pode se comunicar com o Comitê de Ética em Pesquisa no seguinte telefone +55 819-821-8000 (ou 1-800-267-8337) extensão #62644, ou pelo e-mail cer_lsh@USherbrooke.ca.

Assinatura do Participante

Eu li o Formulário de Informação e Consentimento. Ambos, a proposta de pesquisa e o Formulário de Informação e Consentimento foram explicados. Minhas dúvidas foram esclarecidas e foi dado tempo suficiente para fazer a decisão. Após reflexão, eu consinto em participar da pesquisa de acordo com as condições indicadas acima.

Sim

Não

Nome do participante

Assinatura

Data

Compromisso da Pesquisadora Responsável pela Proposta de Pesquisa

Eu certifico que esse Formulário de Informação e Consentimento foi explicado ao participante da pesquisa e suas dúvidas foram esclarecidas.

Eu me comprometo, junto com o grupo de pesquisa, a respeitar o que foi acordado neste formulário e a entregar/enviar uma cópia assinada e datada deste formulário ao participante da pesquisa.

Nome da Pesquisadora Responsável

Assinatura

Data

APÊNDICE G – PROTOCOLO DE PESQUISA

Protocolo de Pesquisa

1 Introdução

Este protocolo de pesquisa descreve os procedimentos de campo que foram seguidos para cada estudo de caso.

2 Preparação pré-entrevista

As empresas selecionadas são referências na indústria aeronáutica e na adoção da MA. Foram buscadas empresas que tinham anunciado que estão usando a manufatura aditiva (MA) além da prototipagem.

Essas empresas foram previamente estudadas pelo pesquisador principal, sendo que informações básicas foram coletadas no site da empresa e em reportagens. Em seguida, um "e-mail de primeiro contato" foi enviado, um funcionário da empresa selecionada recebeu este e-mail com a descrição geral do estudo e a área que deve ser estudada, solicitando sua participação.

Depois de uma semana, caso não tivesse resposta, foi feito um segundo contato por telefone, no qual foi comentado o e-mail enviado e a proposta de participação no estudo. Se permitido e solicitado, o e-mail foi reenviado para este novo contato que foi identificado na chamada ou diretamente para um funcionário responsável pela MA na empresa. Se houver uma resposta positiva ou negativa, a pessoa da empresa deve responder a Carta de Autorização (Apêndice E), em que ele(a) foi responsável pela leitura, fazendo perguntas, marcando “sim” ou “não” para a participação na pesquisa e assinar. Se a resposta foi “não”, os pesquisadores concluem o contato com esta empresa. Se a resposta foi “sim”, o representante da empresa sugeriu uma ou mais pessoas para serem entrevistadas. O(s) entrevistado(s) deveria(m) estar envolvido(s) nas atividades de MA da empresa. Uma cópia da carta permaneceu com o representante da empresa e outra permaneceu com a pesquisadora principal.

Desta forma, um Formulário de Consentimento (Apêndice F) foi enviado ao(s) entrevistado(s), no qual ele(a) foi responsável por ler, fazer perguntas, marcar “sim” ou “não” pela participação na pesquisa e assinar. Se a resposta foi “não”, os pesquisadores concluem o contato com esta empresa. Se a resposta foi “sim”, o pesquisador principal agendou uma visita na empresa e uma reunião com o(s) profissionais(s). Uma cópia do formulário permaneceu com o(s) entrevistado(s) e outra permaneceu com a pesquisadora. Antes da reunião, o pesquisador principal enviou o guia de entrevista semiestruturado (Apêndice D) para o(s) entrevistado(s) e todas as dúvidas puderam ser esclarecidas. Cada empresa participante foi objeto de um estudo de caso envolvendo uma visita à empresa com local e hora agendada conforme a disponibilidade dos entrevistados(as).

3 Coleta de dados

No local e hora agendados, a pesquisador principal procurou chegar adiantado e já estar com os equipamentos preparados (*laptop*) ligado e com os documentos necessários para a entrevista abertos e impressos, equipamentos de gravação de voz prontos para serem utilizados - isso se a gravação foi previamente permitida, entre outros), para não gastar o tempo da entrevista para isso. O entrevistado teve conhecimento das ações e projetos da

empresa em relação à MA. Além disso, deve ter uma visão sistêmica do ambiente de negócios da empresa.

Antes de iniciar a entrevista, o pesquisador fez uma rápida introdução do projeto de pesquisa e esclareceu dúvidas sobre o guia de entrevista. Este aborda informações gerais da empresa, bem como informações específicas das atividades da MA.

O pesquisador coletou informações em quatro áreas principais:

- Informações do entrevistado;
- Informações gerais da empresa;
- Impactos da adoção da manufatura aditiva;
- Motivações e limitação da adoção da MA;

Além de informações adicionais que contribuam para o entendimento do ambiente da empresa, as quais podem ser passadas com o desenrolar da entrevista.

O Quadro F especifica detalhadamente o guia de entrevista, com os dados que foram coletados, nas categorias das áreas principais da pesquisa, nas perguntas que o pesquisador teve que realizar, e tópicos que foram abordados pelo entrevistador.

Depois de inquirir sobre a adoção da MA conforme os procedimentos descritos anteriormente, o pesquisador também coletou quaisquer informações relevantes sobre essa adoção, os reais impactos, motivações e limitações. São de interesse as informações que contribuem para o entendimento das razões subjacentes aos padrões observados de adoção da MA.

Quadro F - Detalhamento do guia de entrevista para a pesquisadora

Informações do entrevistado

IE1	Nome completo do entrevistado. (O entrevistador escreve antes da entrevista)
IE2	Posição do entrevistado na empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista)
IE3	Contatos profissionais do entrevistado (telefone, e-mail). (O entrevistador escreve antes da entrevista)
IE4	Quanto tempo você está na empresa?
IE5	Quanto tempo você está nessa posição?
IE6	Qual é sua relação com as atividades de manufatura aditiva (MA)?

Informações da empresa – Modelo de Negócio

MN1	Nome da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista)
MN2	Website da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista)
Produto - Proposta de valor	
MN3	Indústria e setor da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
MN4	Principais produtos/serviços da empresa.

	(O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
Gestão de infraestrutura – Atividades-chave	
MN5	Missão da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
MN6	Valores da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
MN7	Visão da empresa. (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
MN8	Você poderia falar sobre o(s) processo(s) de manufatura da empresa?
Gestão de infraestrutura – Recursos-chave	
MN9	Quantos funcionários a empresa e/ou essa sede tem? (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)
MN10	Você poderia falar em geral sobre os funcionários da empresa? Especifique as formações, tempo que estão na empresa, tempo nesta posição, etc.
Gestão de infraestrutura – Parceiros-chave	
MN11	Você poderia falar sobre os principais fornecedores da empresa?
Interface com o cliente – Segmentos de clientes	
MN12	Você poderia falar sobre os principais mercados da empresa (internos e externos)?
Aspectos financeiros	
MN13	Qual foi a receita anual bruta da empresa no ano passado? Ou em qual categoria se encaixa a receita anual bruta da empresa no ano passado? <ul style="list-style-type: none"> • Menos de R\$360.000,00; • Entre R\$360.000,01 e R\$3,6 milhões; • Entre R\$3,6 milhões e R\$300 milhões ou • Mais de R\$300 milhões. (O entrevistador escreve antes da entrevista) (Confirmar na entrevista)

Impactos da Manufatura Aditiva

MA1	Quem é o principal responsável pelos projetos de MA na sua empresa? Especifique a formação, tempo que está empresa, posição, tempo nesta posição, etc.
MA2	Quanto tempo sua empresa tem investido e/ou implementado MA? Sempre foi usada para o mesmo propósito (prototipagem, ferramental ou manutenção rápida, produto final)?
MA3	Quais são os tipos de impressoras 3D usadas pela sua empresa?
MA4	Quais são as matérias-primas usadas na MA da sua empresa?

MA5	Você pode falar sobre os processos relacionados à MA? Em quais processos da empresa a MA é utilizada?	
Categorias MN Canvas	Questões	Tópicos a serem abordados
PV1	Quais e como são os produtos produzidos com a MA? (formatos complexos, baixo volume, múltiplas peças em uma, leves, etc)	
PV2	Você acha que a proposta de valor (conjunto de produtos e serviços) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
PV/AC1**	O que aconteceu com o ciclo de vida do produto/peça após começar a ser fabricado com MA? (Todas as etapas: prototipagem, duração da peça, etc.) Como? Por quê?	
PV3**	Com a adoção da MA, os produtos podem ter formatos mais complexos? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • Integração das peças/Múltiplas peça em uma; • Montagem das peças.
PV4*	O que aconteceu com o tamanho após começar a ser fabricado com MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos menores; • Volume da peça.
PV5*	O que aconteceu com o peso dos produtos após começar a ser fabricado com MA? Como? Por quê?	
PV6**	Com a adoção da MA, há um aumento da capacidade de customização em massa? O que você pode dizer sobre isso?	
PV7**	Com a adoção da MA, há um aumento da variedade dos produtos aumenta com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • Mistura de materiais.
PV/FR1*	O que aconteceu com a servitização (conjunto produto/serviço) da empresa após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PV8*	O que aconteceu com o valor do produto após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PV9*	O que aconteceu com a qualidade do produto/serviço após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidade/ funcionalidade do produto; • Estética do produto; • Necessidade de pós-processamento/acabamento do produto; • Propriedades mecânicas do produto; • Resistência do produto; • Precisão.

AC1*	O que aconteceu com o controle e garantia da qualidade após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Complexidade do controle e garantia da qualidade; • Controle do material; • Controlabilidade.
AC/RL*	O que aconteceu com a digitalização do produto após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Desmaterialização.
GI/AC	Você acha que as atividades-chave (competências necessárias) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
PV/AC2**	A liberdade no <i>design</i> do produto aumenta com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • Inovação; • Paradigma de <i>design</i>.
AC2*	O que aconteceu com a flexibilidade da produção após a adoção da MA? Como? Por quê?	
AC3**	A complexidade da produção diminui com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Set-up</i>; • Processos de produção; • Manuseio; • Ferramentas; • Trabalho manual; • Redução das restrições do processo produtivo.
RC1*	O que aconteceu com a saúde e segurança das pessoas envolvidas após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Saúde e segurança dos funcionários, parceiros, clientes e consumidores; • Toxicidade humana; • Emissão zero de odores; • Melhoria da ergonomia; • Redução de riscos de acidentes; • Emissão de ruído.
AC4*	O que aconteceu com a integração dos departamentos após a adoção da MA? Como? Por quê?	
AC5	O que aconteceu com o fluxo de informação após a adoção da MA? Como? Por quê?	
AC/EC1*	O que aconteceu com a manufatura enxuta após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • JIT.
AC6**	A eficiência da produção aumenta com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de produção por espaço ocupado/espaço para produção/uso do espaço; • Eficiência de recurso; • Eficiência do equipamento; • Tempo de inatividade (<i>downtime</i>); • Superprodução

		<p>(<i>overproduction</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilização de material; • Taxa de utilização; • Desperdício; • Obsolescência; • Economia de escala; • Planejamento, programação e carregamento; • Automação; • Índice de manutenção; • Emissão de ruído.
PV/FR2	O que aconteceu com a democratização da produção após a adoção da MA? Como? Por quê?	
GI/RC	Você acha que os recursos-chave (arranjo das atividades e recursos) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
AC/EC2*	O que aconteceu com a eficiência do inventário após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Estoque de matéria-prima; • Estoque em processo (<i>work-in-process</i>); • Estoque de segurança; • Desabastecimento (<i>stock-out</i>); • Nível de oscilação de estoque; • Giro de estoque (<i>turn-over</i>).
AC/RC/EC*	O que aconteceu com a quantidade de trabalhadores e trabalho após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de trabalho.
AC/RC*	O que aconteceu com a qualificação dos funcionários após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PV10**	O impacto ambiental diminuiu com a adoção da MA? O que você pode dizer sobre isso?	<ul style="list-style-type: none"> • Sustentabilidade; • Consumo de água; • Consumo de energia/combustível; • Consumo de material; • Consumo de recursos; • Emissões de gases do efeito estufa; • Poluição; • Reciclagem.
GI/PC	Você acha que os parceiros-chave (fornecedores) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
PC1*	O que aconteceu com a terceirização após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PC2*	O que aconteceu com a dependência com os fornecedores após a adoção da MA? Como? Por quê?	

PC3*	O que aconteceu com a colaboração com os fornecedores após a adoção da MA? Como? Por quê?	
IC/SC	Você acha que os segmentos de clientes da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
SC/FR*	O que aconteceu com as vendas após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Abertura para novos mercados.
IC/CD	Você acha que o canal de distribuição (meios de chegar/atingir o cliente) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
PC4*	O que aconteceu com a complexidade da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Jusante e montante; • Resistência na CS; • Necessidade de coordenação; • Desintermediação; • CS mais curta; • Processo de embalagem.
PC5*	O que aconteceu com a descentralização da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • CS não localizada.
PC6*	O que aconteceu com a flexibilidade da cadeia de suprimentos após a adoção da MA? Como? Por quê?	
CD/EC*	O que aconteceu com a eficiência logística após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Desordem/Distúrbios (<i>upset</i>); • Transporte; • Efeito chicote.
IC/RL	Você acha que o relacionamento (tipo de relações com o cliente) da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
RL*	O que aconteceu com a interação com clientes/consumidores após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PV/RL*	O que aconteceu com a confiabilidade da empresa após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Serviço feito conforme contratado, • Cumprimento de prazo, • Ausência de erros ou falhas, • Pontualidade.
PV11*	O que aconteceu com a responsividade dos processos após a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Agilidade/dinâmica dos processos/CS; • <i>Lead-time</i>/velocidade de produção; • Tempo de manutenção e reparo; • Tempo de desenvolvimento/prototipagem/para o mercado; • Tempo de <i>changeover/set-</i>

		<i>up/turnaround</i> ; <ul style="list-style-type: none"> • Tempo de processamento de pedido.
AF/EC	Você acha que a estrutura de custos da empresa mudou com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
EC1*	O que aconteceu com os custos da empresa após com a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento inicial de capital; • Intensidade de capital (holding); • Custos de desenvolvimento; • Custos de customização/personalização; • Custos de energia; • Custos de equipamentos/ferramental; • Custos de estocagem/inventário/<i>holding</i>; • Custos de fabricação; • Custos de matéria-prima/material; • Custos de serviço; • Custos de manutenção; • Custos de <i>set-up/changeover</i>; • Custos de trabalho; • Custos logísticos/transporte; • Custos da CS; • Custo-efetividade; • Lucro; • Retorno sob investimento (<i>payback</i>).
AF/FR	Você acha que as fontes de receitas (meios de ganhar dinheiro) da empresa mudaram com a adoção da MA? Sim ou não, por quê? Caso sim, como?	
EC2*	O que aconteceu com o risco do negócio após a adoção da MA? Como? Por quê?	
PV12*	O que aconteceu com a competitividade após a adoção da MA? Como? Por quê?	
GERAL	Você acrescentaria outros impactos da adoção da MA? Quais? O que você pode dizer sobre eles?	

Motivações e Limitações da adoção da MA

Motivações		
Mot	Quais foram/são as motivações para a adoção da MA? Por quê? Como?	
MotO/V*	A observabilidade/visibilidade é/foi uma	Observabilidade/visibilidade

	<p>motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?</p>	<p>“consists of the tangibility of the results of using an innovation and individuals seeing the innovation as being visible in the actual context of the adoption” (MOORE; BENBASAT, 1991). “the degree to which the results of an innovation are visible and communicable to others” (ROGERS, 2003).</p>
MotC/EE*	<p>A redução da complexidade/expectativa de esforço é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?</p>	<p>Complexidade “is defined as the perception that the use of an innovation is relatively free from effort.” (DAVIS; BAGOZZI; WARSHAW, 1989). Expectativa de esforço “is the perceived degree of ease associated with innovation use. Effort expectancy in this study is reverse coded in order to explain perceptions regarding the actual effort expectancy associated with an innovation rather than the ‘lack of effort expectancy.’ This variable is similar to complexity in the DOI framework.” (SCHNIEDERJANS, 2017).</p>
MotT*	<p>A vontade de testar/experimentar é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?</p>	<p>Testagem/experimentabilidade “is the extent to which adopters perceive they have an opportunity to experiment with the innovation prior to adoption.” (MOORE; BENBASAT, 1991).</p>
MotIS*	<p>A influência social é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fornecedores; • Cientes/consumidores; • Educação do mercado em MA; • Legislações ambientais.
MotVR/ED**	<p>A vantagem relativa/expectativa de desempenho é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Melhoria do <i>design</i> do produto; • Melhoria do processo de prototipagem do produto; • Racionalização do inventário e logística; • Descentralização da produção; • Eficiência de recursos; • Geração de novas peças/componentes; • Oportunidades de novos mercados; • Redução de custo; • Produtos de baixa demanda;

		<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade da impressora; • Baixo investimento inicial; • Alta flexibilidade; • Variedade de matéria-prima; • Amadurecimento da MA. <p>Vantagem relativa “<i>is the extent to which an adopter views the innovation as having an advantage over previous methods of performing a task.</i>” (ROGERS, 2003).</p> <p>Expectativa de desempenho “<i>is the degree to which using a technology will provide benefits.</i>” (VENKATESH; THONG; XU, 2012).</p> <p>“<i>This is similar to relative advantage, however, relative advantage refers to the benefits of one innovation over an existing innovation.</i>” (SCHNIEDERJANS, 2017).</p>
MotC/FC*	A compatibilidade/condições facilitadoras é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Cultura/abertura para novas tecnologias; <p>Compatibilidade “<i>is the degree to which an innovation is perceived as ‘consistent with existing values, needs and past experiences’</i>” (ROGERS, 2003).</p> <p>Condições facilitadoras “<i>is defined as a perception of resources and support available to perform the behavior</i>” (VENKATESH; THONG; XU, 2012).</p> <p>“<i>Often confused with compatibility, facilitating conditions refers to resources and support available to help guide an innovation’s use. Whereas compatibility refers to a consistency between an innovation and the environment in which it is used.</i>” (SCHNIEDERJANS, 2017).</p>
Limitações		
Lim	Quais foram/são as limitações para a adoção da MA? Por quê? Como?	
LimO*	A falta de observabilidade/visibilidade é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?	
LimT*	A falta de vontade de testar/experimentar é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?	
LimC/EE*	O aumento da complexidade/expectativa de esforço é/foi uma limitação para a adoção da MA?	

	Como? Por quê?	
LimIS2*	A falta de influência social é/foi uma motivação para a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de suporte dos fornecedores; • Preocupações legais e de segurança (direito de propriedade intelectual); • Falta de certificações; • Falta de conscientização do consumidor.
LimVR/E D**	A falta de vantagem relativa/expectativa de desempenho é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade do material; • Redução do desempenho da qualidade; • Redução do controle da qualidade; • Aumento do custo; • Velocidade da impressora; • Variedade da matéria-prima; • Tempo de preparação da impressora; • Tempo de <i>design</i> do produto; • Alto custo de <i>set-up</i>; • Aumento dos custos de material; • Alto custos da impressora; • Apenas para baixo volumes de demanda; • Não produção em massa; • Oferta de produtos limitada à viabilidade tecnológica; • Aumento da toxicidade humana; • Saúde e segurança dos trabalhadores • Não sustentável.
LimC/CF*	A compatibilidade/condições facilitadoras é/foi uma limitação para a adoção da MA? Como? Por quê?	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de experiência; • Falta de alinhamento estratégico com a tecnologia; • Falta de crença na tecnologia; • Lealdade com os processos tradicionais; • Mudança de cultura; • Falta de apoio/suporte da alta gerência; • Falta de informação sobre a tecnologia; • Falta de conhecimento dos funcionários; • Falta de segurança no

		manuseio de dados; <ul style="list-style-type: none"> • Falta de cadeia de suprimentos funcional para a MA; • Obsolescência das impressoras.
--	--	--

4 Estágio pós-entrevista

Após a visita, o pesquisador deve transcrever a entrevista, caso tenha sido gravada, senão deve produzir diretamente um relatório o mais rápido possível. Tal relatório deve conter todas as anotações e documentos categorizados por constructo de pesquisa e organizados em um texto coerente dentro de cada categoria. Além disso, o relatório deve incluir quaisquer reflexões do pesquisador sobre perguntas referentes ao estudo de caso na tentativa de integrar as evidências disponíveis de modo a convergir aos fatos da entrevista ou à interpretação desses fatos. A pesquisadora enviou aos entrevistados a transcrição e o relatório (no caso que não foi gravada a entrevista) para que eles revisassem, antes que a análise de conteúdo fosse realizada.

ANEXO

**ANEXO A – COMPROVANTE DO COMITÊ DE ÉTICA DA UNIVERSITÉ
DE SHERBROOKE**



Sherbrooke, le 07 juillet 2017

Mme Denise Franco
ÉCOLE DE GESTION (études)
Université de Sherbrooke

N/Réf. 2017-1502/Franco

Objet : Approbation finale de votre projet de recherche

Madame,

Le Comité d'éthique de la recherche – Lettres et sciences humaines a reçu les clarifications ou les modifications demandées concernant votre projet de recherche intitulé « **Impacts of additive manufacturing in business models** ».

Les documents suivants ont été analysés :

- Formulaire de réponse aux conditions (F20-938)

Le comité a le plaisir de vous informer que votre projet de recherche a été **approuvé**.

Cette approbation étant **valide jusqu'au 07 juillet 2018**, il est de votre responsabilité de remplir le formulaire de suivi (formulaire F5-LSH) que nous vous ferons parvenir annuellement. Il est également de votre responsabilité d'aviser le comité de toute modification au projet de recherche (formulaire F4-LSH) ou de la fin de votre projet (formulaire F6-LSH). Ces deux derniers formulaires sont disponibles dans Nagano.

Le comité vous remercie d'avoir soumis votre demande d'approbation à son attention et vous souhaite, Madame, le plus grand succès dans la réalisation de cette recherche.

A handwritten signature in blue ink that reads 'Olivier Laverdière'.

Olivier Laverdière
Président du CÉR - Lettres et sciences humaines
Professeur au département de psychologie
Faculté des lettres et sciences humaines

c. c. Vice-décanat à la recherche
Directeur ou directrice de recherche (le cas échéant)
Service d'appui à la recherche, à l'innovation et à la création (le cas échéant)