

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO E SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

DOUGLAS RHODEN CALDERARO

**MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE
MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

**SÃO LEOPOLDO
2019**

DOUGLAS RHODEN CALDERARO

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE
MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Rafael Veit

São Leopoldo

2019

C146m Calderaro, Douglas Rhoden.

Modelo de apoio à decisão para seleção de tecnologias de manufatura aditiva em sistemas produtivos / Douglas Rhoden Calderaro. – 2019.

194 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestre) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2019.

“Orientador: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda
Coorientador: Prof. Dr. Douglas Rafael Veit.”

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

Dedico esta dissertação aos meus pais, Suytiberto e Lucila, que sempre me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Suytiberto e Lucila, pelo apoio e incentivo de sempre. Vocês fazem parte da conclusão de mais esta etapa. À minha noiva Aline, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Lacerda, por todo aprendizado, disponibilidade e apoio constante. Difícil quantificar todo o conhecimento adquirido, além do crescimento acadêmico e profissional nestes últimos três anos e meio de pesquisas. Agradeço também por todos os ensinamentos e oportunidades de aprendizado proporcionados durante o estágio de docência.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Douglas Veit, por toda sua disponibilidade, empenho e todas as contribuições no desenvolvimento desta pesquisa. Além de todo o apoio e incentivo no decorrer desta *caminhada* de 1,5 ano.

A todos que em algum momento contribuíram com a realização desta pesquisa. E também, às quatro pessoas que se disponibilizaram a participar da avaliação do modelo desenvolvido neste trabalho – vocês foram essenciais para a conclusão desta pesquisa e seus resultados, obrigado!

Por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da UNISINOS e a CAPES/PROSUC.

RESUMO

A Manufatura Aditiva (AM) vem apresentando crescimento contínuo de adoção por parte das organizações nos últimos anos, modificando os processos produtivos, cadeia de suprimentos, manutenção, desenvolvimento de produto e a economia global. Há no mercado, diversas tecnologias de AM e equipamentos para utilização, contudo, não há diretrizes, *benchmarking* ou ferramentas de suporte a decisão quanto à seleção adequada. Esta pesquisa apresenta um modelo de apoio à tomada de decisão para seleção de tecnologias de AM em sistemas produtivos. Onde, relacionou-se as características das tecnologias de AM com os critérios competitivos, para que a seleção de tecnologias de AM seja alinhada com os objetivos dos sistemas produtivos. Para isso, utilizou-se o método análise hierárquica de processos (AHP) para execução da análise pareada das tecnologias em relação aos critérios competitivos e a análise conjunta para obtenção das utilidades através da identificação das preferências dos respondentes por meio do ordenamento dos cartões. Além do banco de dados, composto por informações obtidas na literatura e nos catálogos técnicos dos fabricantes de equipamento de AM. O artefato foi avaliado em três situações distintas. Dessa forma, esta pesquisa contribui tanto para o meio acadêmico quanto empresarial, ao desenvolver um artefato funcional de seleção de tecnologia de Manufatura Aditiva. E também, ao contribuir para o aumento da disponibilidade de informações relativas às nove tecnologias aditivas, mais comumente utilizadas na indústria.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Critérios Competitivos. Sistemas Produtivos. Análise Conjunta. Análise Hierárquica de Processos (AHP).

ABSTRACT

Additive Manufacturing (AM) has been showing steady growth in adoption by organizations in recent years, changing production processes, supply chain, maintenance, product development, and the global economy. There are several AM technologies and equipment in the market, however, there are no guidelines, benchmarking or decision support tools for proper selection. This research presents a model to support decision making for the selection of AM technologies in productive systems. Where, the characteristics of the AM technologies are related to the competitive criteria, so that the selection of AM technologies is aligned with the objectives of the productive systems. For this, the analytic hierarchy process (AHP) method was used to perform the matched analysis of the technologies in relation to the competitive criteria and the conjoint analysis to obtain the utilities through the identification of the preferences of the respondents through the ordering of the cards. In addition to the database, composed of information obtained in the literature and in the technical catalogs of the AM equipment manufacturers. The artifact was evaluated in three different situations. Thus, this research contributes both to the academic and business environments, as it develops a functional artifact of selection of Additive Manufacturing technology. It also contributes to increasing the availability of information on the nine additive technologies most commonly used in industry.

Key-words: Additive Manufacturing. Competitive Criteria. Production Systems. Conjoint Analysis. Analytic Hierarchy Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho de Pesquisa	24
Figura 2 - Relação do Sistema de Produção e Sistema de Manufatura	38
Figura 3 - Esquema de Impressão - BJ	43
Figura 4 - Processo de Impressão - EBM	44
Figura 5 - Esquema da Impressora - FDM	45
Figura 6 - Esquema de Impressão - LOM	46
Figura 7 - Esquema de Impressão - LENS.....	47
Figura 8 - Esquema de Impressão - MJ	49
Figura 9 - Esquema de Impressão - SLM.....	50
Figura 10 - Esquema da Impressão - SLS	51
Figura 11 - Esquema da Impressão - SLA	52
Figura 12 – 8 Passos para Seleção de Tecnologias Aditivas.....	61
Figura 13 - Matriz geral de prioridade da AHP	69
Figura 14 – Estratégia para Condução de Pesquisas Científicas.....	73
Figura 15 - Etapas do Método (Artefato)	77
Figura 16 – Fabricantes de Impressoras Aditivas	82
Figura 17 – Estruturação das Técnicas Estatísticas no Modelo	88
Figura 18 – Matriz de Classificação de Tecnologias de Manufatura Aditiva de acordo com as Matérias-Primas Trabalhadas.....	91
Figura 19 – Interface do Artefato.....	99
Figura 20 – Interface Futura do Artefato	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Utilização de AM por Segmento	18
Gráfico 2 - Horizonte Temporal do Termo "Manufatura Aditiva.....	27
Gráfico 3 – Pareto dos Tecnologias de AM encontradas na Literatura	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese das 6 Pesquisas que se relacionam a este Trabalho	31
Quadro 2 – Síntese de Críticas dos Trabalhos Existentes	32
Quadro 3 - Classificação das Tecnologias de Manufatura Aditiva	41
Quadro 4 – Matérias-Primas das Técnicas de Manufatura Aditiva conforme literatura	54
Quadro 5 – Características das Tecnologias de Manufatura Aditiva.....	55
Quadro 6 – Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos	59
Quadro 7 - Estágios da Análise Conjunta	65
Quadro 8 – Escala de Saaty (1990)	70
Quadro 9 – Índice Randômico.....	72
Quadro 10 - Tipos de Artefatos	75
Quadro 11 – Definições e relação dos critérios competitivos com determinadas características das Tecnologias Aditivas.....	84
Quadro 12 – Relação entre os critérios competitivos e as características da Tecnologia Aditiva	90
Quadro 13 – Escala de Classificação.....	90
Quadro 14 – Matriz de Comparação – Material Níquel – Critério Competitivo Custo	92
Quadro 15 - Matriz Normalizada e Vetor Prioridade – Material Níquel – Critério Competitivo Custo	93
Quadro 16 – Matriz de Comparação – Material x Tecnologia	94
Quadro 17 – Consistências Obtidas.....	95
Quadro 18 - Modelo de Cartão.....	96
Quadro 19 – Demonstração do cálculo – Indicação Artefato	97
Quadro 20 – Perfil dos Entrevistados - Decisores.....	101
Quadro 21 – Utilidade – Entrevistado 1.....	104
Quadro 22 – Utilidade – Entrevistado 2.....	105
Quadro 23 – Resultado artefato – Entrevistado 1 (Decisor).....	106
Quadro 24 – Vetor Prioridade para as Tecnologias de Manufatura Aditiva que utilizam a matéria prima Polímero	106
Quadro 25 – Utilidade encontrada para cada um dos Critérios Competitivos - Entrevistado 1	107
Quadro 26 – Resultados obtidos após operacionalização do Modelo.....	107

Quadro 27 - Resultado artefato – Entrevistado 2 (Decisor).....	108
Quadro 28 – Utilidade - Fornecedor	109
Quadro 29 - Resultado artefato – Fornecedor.....	110
Quadro 30 – Utilidade - Especialista	110
Quadro 31 - Resultado artefato – Especialista.....	111
Quadro 32 – Termos de Busca	142
Quadro 33 – Artigos Relacionados a esta Pesquisa – Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva	144
Quadro 34 – Embasamento teórico do questionário (Apêndice “B”)	145
Quadro 35 – Base de Dados – Características Tecnologias.....	147
Quadro 36 - Perfis de Escolha	148
Quadro 37 – Matérias-Primas x Tecnologias Aditivas.....	166
Quadro 38 - Matrizes de Comparação – Material Níquel	167
Quadro 39 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Níquel.....	168
Quadro 40 - Matrizes de Comparação – Material Titânio.....	170
Quadro 41 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Titânio.....	171
Quadro 42 - Matrizes de Comparação – Material Polímero	173
Quadro 43 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Polímero	174
Quadro 44 - Matrizes de Comparação – Material Aço Ferramenta.....	176
Quadro 45 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Aço Ferramenta	177
Quadro 46 - Matrizes de Comparação – Material Fotopolímero.....	178
Quadro 47 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Fotopolímero ...	179
Quadro 48 - Matrizes de Comparação – Material Aço Inoxidável	180
Quadro 49 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Aço Inoxidável .	181
Quadro 50 - Matrizes de Comparação – Material Alumínio.....	182
Quadro 51 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Alumínio.....	183
Quadro 52 - Matrizes de Comparação – Material Cobre.....	184
Quadro 53 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Cobre.....	185
Quadro 54 - Matrizes de Comparação – Material Cromo-Cobalto	186
Quadro 55 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Cromo-Cobalto	187
Quadro 56 - Matrizes de Comparação – Material Plástico Curado	188
Quadro 57 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Plástico Curado UV	189

Quadro 58 - Matrizes de Comparação – Material Poliestireno	190
Quadro 59 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Poliestireno.....	191
Quadro 60 - Matrizes de Comparação – Material Polímero Termoplástico	192
Quadro 61 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Polímero Termoplástico.....	193

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Forma Geral de um Modelo de Análise Conjunta.....	68
Equação 2 – Razão dos Resultados Obtidos.....	71
Equação 3 – Autovalor Máximo.....	71
Equação 4 – Índice de Consistência	71
Equação 5 – Razão de Consistência	72
Equação 6 – Modelo de Apoio à Decisão para Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva em Sistemas Produtivos	97
Equação 7 – Operacionalização do Modelo – Tecnologia MJ – Entrevistado 1	108

LISTA DE SIGLAS

AM	Manufatura Aditiva
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
DFA	<i>Design for Assembly</i>
DFAM	<i>Design for Additive Manufacturing</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>

LISTA DE SIGLAS – TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA

BJ	<i>Blinder Jetting</i>
CLIP	<i>Continuous Liquid Interface Production</i>
CDLP	<i>Continuous Digital Light Processing</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
DMLS	<i>Direct Metal Laser Sintering</i>
DOD	<i>Drop on Demand</i>
EBM	<i>Electron Beam Melting</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
LENS	<i>Laser Engineering Net Shape</i>
MJ	<i>Material Jetting</i>
NPJ	<i>Nano Particle Jetting</i>
SDL	<i>Selective Deposition Lamination</i>
SLM	<i>Selective Laser Melting</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
SLA	<i>Stereolithography</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo Geral	26
1.2.2 Objetivos Específicos	26
1.3 JUSTIFICATIVA	26
1.4 DELIMITAÇÕES	35
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	36
2 REFERENCIAL TEÓRICO	38
2.1 SISTEMAS PRODUTIVOS	38
2.2 MANUFATURA ADITIVA	41
2.2.1 <i>Binder Jetting</i> (BJ).....	42
2.2.2 <i>Electron Beam Melting</i> (EBM)	43
2.2.3 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM).....	45
2.2.4 <i>Laminated Object Manufacturing</i> (LOM).....	46
2.2.5 <i>Laser Engineering Net Shape</i> (LENS).....	47
2.2.6 <i>Material Jetting</i> (MJ)	48
2.2.7 <i>Selective Laser Melting</i> (SLM).....	49
2.2.8 <i>Selective Laser Sintering</i> (SLS).....	51
2.2.9 <i>Stereolithography</i> (SLA)	52
2.2.10 Síntese das Técnicas de Manufatura Aditiva	54
2.3 MANUFATURA ADITIVA E OS CRITÉRIOS COMPETITIVOS	56
2.4 SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA MANUFATURA ADITIVA	60
2.5 ANÁLISE CONJUNTA	63
2.6 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS(AHP)	68
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	73
3.1 Delineamento da Pesquisa	73
3.2 Método de Trabalho	76
3.3 Coleta e Análise de Dados	81
4 PROPOSIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO	87
4.1 Bases para Construção do Modelo	89
4.2 Proposição do Modelo	97

4.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO.....	99
5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	101
5.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	101
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	112
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE A – PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – MANUFATURA ADITIVA.....	142
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA.....	145
APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA.....	147
APÊNDICE D – PERFIS DE ESCOLHA	148
APÊNDICE E – LISTA DOS ARTIGOS SELECIONADOS	149
APÊNDICE F – MATÉRIAS-PRIMAS CONTEMPLADAS X TECNOLOGIAS ADITIVAS ESTUDADAS	166
APÊNDICE G – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL NÍQUEL.....	167
APÊNDICE H – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL TITÂNIO	170
APÊNDICE I – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLÍMERO	173
APÊNDICE J – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – AÇO FERRAMENTA	176
APÊNDICE K – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – FOTOPOLÍMERO	178
APÊNDICE L – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL AÇO INOXIDÁVEL	180
APÊNDICE M – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL ALUMÍNIO.....	182
APÊNDICE N – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL COBRE	184
APÊNDICE O – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL CROMO-COBALTO.....	186

APÊNDICE P – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL PLÁSTICO CURADO	188
APÊNDICE Q – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLIESTIRENO.....	190
APÊNDICE R – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLÍMERO TERMOPLÁSTICO	192

1 INTRODUÇÃO

“A produção industrial é, atualmente, conduzida pela competição global e pela necessidade da rápida adaptação da produção (...) e esses requisitos podem ser atendidos por avanços radicais na tecnologia de fabricação tradicional” (ROJKO, p. 77, 2017). A Manufatura Avançada está reduzindo os custos e oferecendo maior eficiência e flexibilidade aos sistemas produtivos em um período em que a busca pela maximização da produtividade é constante (COCHET, 2016; MARQUES, 2017). Razão pela qual a Manufatura Avançada é prioridade em universidades, centros de pesquisa e organizações (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015).

A Manufatura Avançada é composta por um conjunto de tecnologias, tais como simulação, *big data*, realidade aumentada, Manufatura Aditiva, entre outras (RÜSSMANN et al., 2015). Com relação à Manufatura Aditiva, ao longo dos últimos 20 anos, as tecnologias migraram do processo de prototipagem rápida para a manufatura digital direta (CRUMP, 2016). Nesse cenário evolutivo, onde *hardware* e *software* se combinam, verifica-se constantemente a divulgação de novas tecnologias de Manufatura Aditiva (COCHET, 2016; PARK, 2017). A implementação generalizada da Manufatura Aditiva tem potencial de alterar o futuro das organizações (BEN-NER; SIEMSEN, 2017). A Manufatura Aditiva pode alterar aspectos da produção, cadeia de suprimentos, manutenção, desenvolvimento de produto e da economia global (ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; BEN-NER; SIEMSEN, 2017).

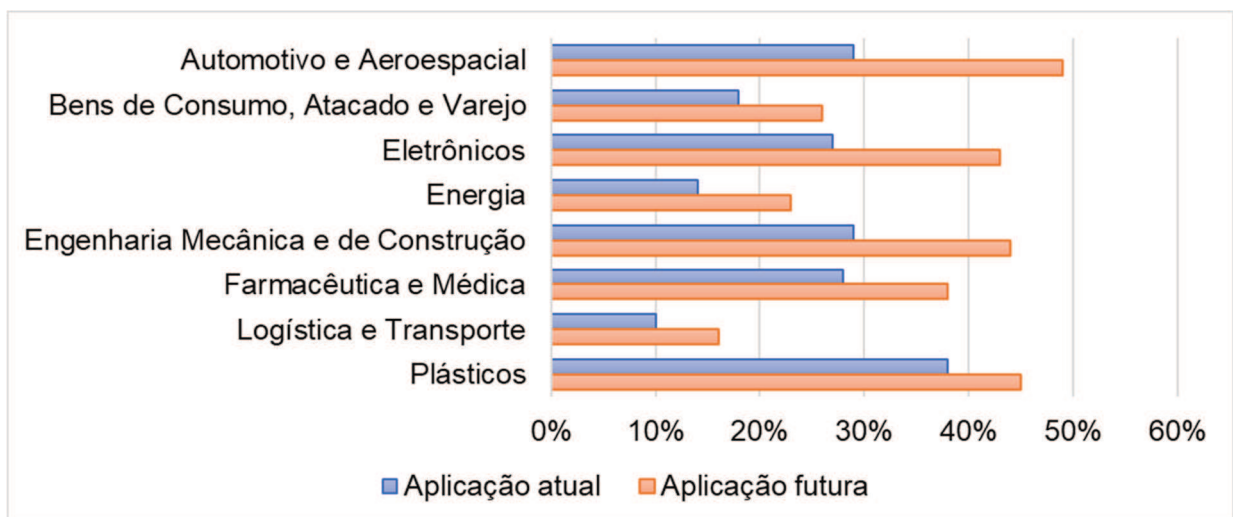
A utilização da Manufatura Aditiva por parte das organizações apresenta crescimento e uma das razões é que as empresas que adotam tecnologias de AM estão obtendo aumento no seu retorno sobre o investimento (SCULPTEO, 2017). Isso se deve ao elevado grau de eficiência, precisão e funcionalidade ofertado pelas tecnologias de AM, permitindo assim, manufaturar peças complexas, que anteriormente não eram possíveis em sistemas tradicionais de produção suportados por tecnologias subtrativas¹ (COCHET, 2016; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017).

A tendência do aumento da utilização das tecnologias de AM pode ser observada pelo índice global de expedição de impressoras 3D. Aproximadamente 220

¹ A Manufatura Subtrativa consiste na remoção de materiais a partir da matéria prima. A fresagem, perfuração e a moagem, por exemplo, são exemplos de tecnologias de Manufatura Subtrativa (MAHAMOOD et al., 2014a; VEIT, 2018).

mil impressoras foram expedidas em 2015 e até 2020, estima-se que sejam mais de 6,7 milhões de impressoras (FORNI; VAN DER MEULEN, 2017). O aumento da expedição de impressoras 3D, pode ser explicado, em parte, pelo fato das empresas estarem tornando as tecnologias de AM um fator de competitividade estratégica (SCULPTEO, 2017). No Gráfico 1, verifica-se a utilização de tecnologias de AM por segmento industrial. Observa-se que os segmentos com maior tendência de aplicação futura são o automotivo, aeroespacial, eletrônicos, engenharia mecânica e construção, farmacêutica e médica e plásticos. Além do crescimento da adoção da Manufatura Aditiva nesses segmentos, verificam-se diversos produtos relacionados às respectivas áreas de atuação, tais como peças automobilísticas e aeroespaciais, próteses médicas, itens comestíveis customizados, entre outros.

Gráfico 1 - Utilização de AM por Segmento



Fonte: Ernst & Young GMBH (EY) (2016).

Com relação à classificação dessas tecnologias de Manufatura Aditiva, a Norma ISO/ASTM 52900 categoriza em *Binder Jetting*, *Directed Energy Deposition*, *Material Extrusion*, *Material Jetting*, *Powder Bed Fusion*, *Sheet Lamination* e *Vat Photopolymerisation*, contendo diversas tecnologias de AM em cada uma dessas classes, tais como *fused deposition modeling* (FDM), *selective laser sintering* (SLS), *stereolithography* (SLA), entre outras (3D HUBS, 2016; CHUA; LEONG, 2016; SORRENTINO; PEVERINI, 2016). Todas essas tecnologias de Manufatura Aditiva conferem à organização, em geral, e ao produto e processo, em particular, características distintas. Entretanto, na literatura, não há diretrizes para a seleção

adequada de tecnologias de AM para as diferentes aplicações nos sistemas de produção existentes (GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017).

As diferenças entre as tecnologias de AM e as restrições de cada equipamento de Manufatura Aditiva disponível tornam complexa a definição da tecnologia de fabricação a ser utilizada (MANÇANARES et al., 2015). Esta pesquisa apresenta como tema a seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva no âmbito dos sistemas produtivos. Nesta seção, apresentou-se a contextualização e o tema do presente estudo, a seguir, apresenta-se o objeto e o problema de pesquisa do trabalho.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

Para concorrer em um ambiente competitivo, as organizações investem em novas técnicas de fabricação para atender as novas necessidades dos sistemas produtivos (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). As técnicas de fabricação devem ser flexíveis e economicamente viáveis para baixos volumes, caracterizando-se como um dos cenários em que a AM está sendo aplicada (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). As tecnologias de Manufatura Aditiva estão possibilitando, no âmbito dos sistemas produtivos, novos paradigmas quanto às opções de manufatura (PARIS et al., 2016). A AM deixa de ser utilizada somente para protótipos e passa a ser empregada para produção direta, ou seja, na fabricação de partes funcionais de produtos finais (PERSONS, 2015). A reportagem da revista *The Economist* (2012, não paginada), contextualiza o crescimento e as possibilidades da AM.

Nos dias de hoje, solicite a uma empresa para fazer um único martelo com o seu próprio projeto e será apresentado a uma conta de milhares de dólares. O fabricante terá de produzir o molde, forjar a cabeça, manufaturar para dar um acabamento final, ligar a um cabo de madeira e então, montar as partes. A fabricação deste martelo seria proibitivamente cara. Se você está produzindo milhares de martelos, cada um deles será muito mais barato, graças a economia de escala. Para a impressora 3D, o qual, a economia de escala importa muito menos, o software pode ser modificado ilimitadas vezes e pode fazer qualquer coisa. O custo de *setup* da máquina é o mesmo para fazer uma ou mais coisas que caibam dentro da máquina; como uma impressora 2D de escritório que imprime uma ou muitas páginas até que o cartucho e papel necessitem de reposição, ela continuará, ao mesmo custo para cada item.

Essas possibilidades farão com que os negócios ao longo da cadeia de suprimentos, sistemas produtivos e cadeias de varejo repensem suas estratégias de operações e desenvolvam cenários futuros para planejamento e tomada de decisões

estratégicas (D'AVENI, 2013; JIANG; KLEER; PILLER, 2017). Ou seja, representa um marco tecnológico nos sistemas produtivos com potencialidade para modificar substancialmente a manufatura e a distribuição de bens (PERSONS, 2015; ASHOUR POUR et al., 2017).

Adicionalmente, por meio dos critérios competitivos, as organizações são capazes de definir e classificar quais características terão maior significância aos clientes em detrimento de outras. Conforme Skinner (1974), os critérios competitivos são os fatores considerados pelos consumidores quando da decisão da compra. Ou seja, um conjunto de critérios que as organizações devem valorizar para competir no mercado (MILTENBURG, 2008).

Com relação às tecnologias de AM, cada uma apresenta vantagens e desvantagens que podem ser adequadas, ou não, em função dos critérios competitivos priorizados no sistema produtivo em análise, sendo uma das razões pela qual a tecnologia deve ser tecnicamente selecionada. As tecnologias de Manufatura Aditiva possuem características heterogêneas, que alinhadas à falta de padrões para comparação (*benchmarking*) e à falta de experiência por parte das organizações, torna a seleção de uma tecnologia de AM complexa (PARK; TRAN, 2017).

Adicionalmente, a expansão da AM e a diversificação de tecnologias existentes no mercado, faz que, usuários experientes, apresentem dificuldades para selecionar a tecnologia adequada para determinada situação (RAO; PADMANABHAN, 2007). A maioria das pessoas encontra dificuldades para tomar decisões quando há mais de duas opções e conflitos de escolha (*tradeoffs*) (DOLAN, 2008). Paralelamente, a falta de informação por parte das organizações, em parte causado pela escassez de *benchmarking* entre as tecnologias de AM, resultará em decisões errôneas referentes às tecnologias de AM.

Goldberg (2016) afirma que os impactos da aquisição equivocada de equipamentos são perdas de: produtividade; ganho; incremento do tempo gasto no processo; qualidade; custo de reinvestimento; entre outras. Logo, em uma analogia com as tecnologias aditivas, pode-se inferir que a incorreta seleção de tecnologia AM para um determinado sistema produtivo resultará nos mesmos efeitos. Além disso, após a tomada de decisão quanto ao bem de capital a ser adquirido, corrigir uma aquisição equivocada é custosa.

A tomada de decisão é um processo complexo, mesmo quando há dados e informações disponíveis (SALCHEV, 2016). A dificuldade de escolha é ampliada,

devido à escassez de informação por parte das organizações. A falta de clareza, informação, ferramentas de *benchmarking* e comparabilidade torna complexa a seleção das tecnologias de AM. Além disso, no ambiente competitivo em que as organizações se encontram, selecionar e investir na correta informação/sistema/tecnologia é um fator importante para manter a sustentabilidade e prosperidade das organizações (BACON, 1992; MATHIAS; WILLIAMS, 2014).

Com relação aos sistemas produtivos, a falta de ferramentas de apoio à decisão e *know-how* (GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; PARK; TRAN, 2017), somado à necessidade de alto investimento de capital (THOMAS; GILBERT, 2014) e conseqüentemente risco, resulta em incerteza por parte das organizações quanto à aquisição da tecnologia de AM. Com relação ao alto custo de investimento, um dos maiores fatores de impacto negativo para a implantação das tecnologias de Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos está atenuando, visto que o preço médio dos equipamentos apresenta tendência de redução, entretanto, ainda é elevado (THOMAS; GILBERT, 2014; ROMERO-TORRES; VIERA, 2016).

Outro ponto de discussão é o benefício que a tecnologia de AM entrega ao sistema produtivo. Isto é, se após a implantação, os critérios competitivos valorizados pela organização terão alguma melhoria em comparação a situação existente anteriormente.

Com base no exposto, há conseqüências de não haver um modelo de apoio à tomada de decisão para seleção de tecnologias de AM em sistemas produtivos. A seleção equivocada pode resultar em perdas de produtividade, financeiras e/ou atendimento às especificações. Com relação aos conflitos de escolhas (*tradeoffs*) de equipamentos e seus impactos nos critérios competitivos, caso erroneamente priorizados poderão repercutir no sistema produtivo. A seleção incorreta poderá resultar em um desalinhamento em relação à estratégia da empresa, priorizando assim, aspectos não importantes ou valorizados pela organização e/ou cliente final. Por fim, há também, o risco do não atendimento das exigências do mercado que por conseqüência desse e das conseqüências citadas previamente, poderão impactar no retorno previsto para o investimento.

Existem três abordagens para a seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva na literatura. A primeira abordagem define, com enfoque em três tecnologias de AM (SLM, EBM, BJ), 7 parâmetros que devem ser considerados no momento de escolha de uma tecnologia de AM (GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017). Contudo, estes

parâmetros deveriam ser avaliados independentemente do tipo de tecnologia a ser considerada. A especificação de material e do componente, além da aplicação da peça, estão relacionadas às decisões da Engenharia e da empresa, ou seja, o sistema produtivo deve atender ao especificado. Quanto a limitações tecnológicas, este item, deve ser avaliado em conjunto com o sistema produtivo durante o processo de seleção. Pois, deve ser avaliado se a tecnologia a ser adquirida produzirá um único item ou mais de um. Esta questão determinará o nível de atendimento da tecnologia de AM que deverá ser considerado durante a tomada de decisão. Por fim, quanto à precisão do processo, qualidade do acabamento e necessidade de pós processamento são características a serem analisadas durante o processo de seleção, pois, são critérios que estão diretamente relacionados ao tipo de tecnologia de AM que será empregada.

A segunda abordagem utiliza métodos estatísticos para efetuar a seleção da tecnologia de AM. O método proposto por Khaleeq Uz Zaman et al. (2016) não seleciona a tecnologia de AM adequada para determinada situação, apenas indica qual processo deve ser utilizado, manufatura tradicional ou aditiva. Mançaneres et al. (2015) desenvolveram um método para componentes específicos. Devido a isto, a abrangência de utilização do método é reduzida e impossibilita também, a generalização. Rao e Padmanabhan (2007) desenvolveram um método para seleção, onde, os cálculos e a definição de atributos devem ser feitos manualmente. Com isso, sua aplicação torna-se de complexidade elevada e de lenta execução. Park e Tran (2017) apresentam de maneira parcial um sistema funcional, porém, não expõem claramente os processos de validação e escolha das tecnologias. Trata-se de um conceito em que apenas as características técnicas das tecnologias de AM são consideradas, porém, os métodos de validação não são explanados. Adicionalmente, o processo de confecção do banco de dados não é detalhado. Frente ao exposto, esta pesquisa torna-se de difícil replicação e/ou aplicação. Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015) defendem a importância de que o conhecimento gerado possa ser generalizado a outras situações/problemas, permitindo assim, o avanço do conhecimento geral.

Por fim, a terceira abordagem, Mellor, Hao e Zhang (2014) desenvolveram um *framework* voltado para a implantação de tecnologias de Manufatura Aditiva. Dessa forma, caso a seleção tenha sido feita erroneamente, pode-se implantar a tecnologia

de AM errada. Contudo, este trabalho pode ser considerado um complemento a esta pesquisa.

Quanto às três abordagens, verificam-se ao menos três problemas distintos. O primeiro se refere à não utilização de um método/modelo/ferramenta automatizada. A não automatização, além de contribuir para a falta de padronização da atividade, gera também, um nível de complexidade para execução. A padronização de atividades minimiza a necessidade de coordenação para realização, além de eliminar ou diminuir os retrabalhos e/ou desperdícios (GALBRAITH; DOWNEY; KATES, 2011).

O segundo problema se refere a não inclusão dos critérios competitivos nos métodos/modelos propostos. Desta forma, não é possível assegurar que a tecnologia de AM indicada esteja alinhada com a estratégia da organização. Resultando em eventuais perdas de competitividade e/ou mercado. Quanto ao terceiro problema, trata sobre a especificidade do método/modelo proposto. Sendo possível correlacionar os efeitos do segundo e terceiro problema. Dadas às limitações, torna-se de difícil generalização e, também, há o risco de não representar as necessidades/estratégia da organização em questão dado a falta de conexão entre os critérios competitivos e/ou parâmetros das impressoras.

Os métodos estatísticos utilizados por esta pesquisa são a AHP e Análise Conjunta. Com relação a AHP, lista-se a utilização para análise de risco (WANG et al., 2018), priorização de elementos de marketing (ABEDI; ABEDINI, 2017), avaliação de indicadores de cadeia de suprimentos (KUMAR; GARG, 2017), entre outras situações. Quanto a Análise Conjunta, esta técnica é utilizada para identificar as preferências de consumidores (MEYERDING; MERZ, 2018), o impacto de determinados fatores na tomada de decisão dos consumidores (PIKO; TOROS, 2017), dimensionar o risco na cadeia de suprimentos (ATWATER et al., 2014), entre outros meios.

Para operacionalização do modelo proposto nesta pesquisa, os métodos AHP e Análise Conjunta foram utilizados de maneira integrada. A integração foi necessária para superar características limitantes destas técnicas. Devido a isto, ambas as técnicas, não foram executadas em sua totalidade.

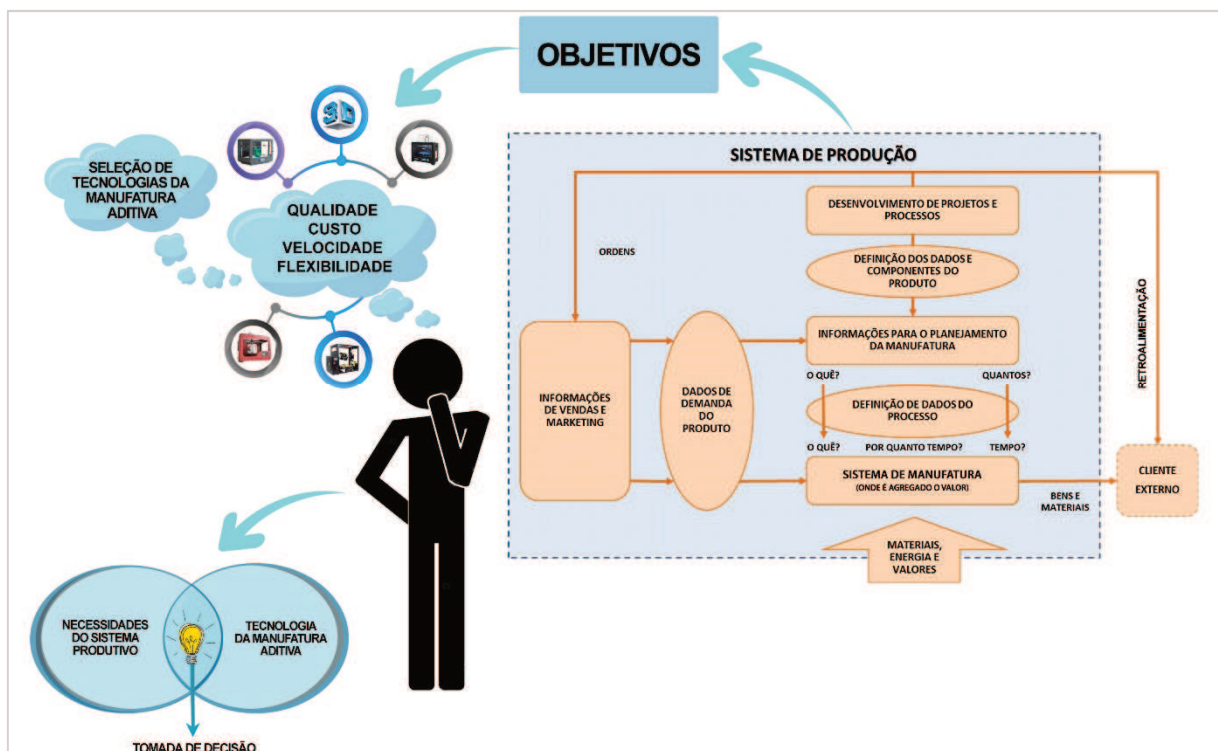
Quanto as razões, a AHP realiza comparações apenas par a par, impossibilitando assim, a análise de todos os critérios competitivos ao mesmo tempo. Esta limitação, faria com que a análise por parte do entrevistado fosse complexa e demorada, além de, impactar na consistência do respondente durante a execução. Contudo, para a confecção do banco de dados, a técnica AHP foi utilizada. Pois,

permite de maneira simples, a análise pareada de todos os critérios competitivos em relação a cada uma das matérias primas e as tecnologias de AM.

Quanto a análise conjunta, esta possibilita a análise de todos os critérios competitivos ao mesmo tempo, contudo, o resultado final da técnica, é a utilidade geral. Para esta pesquisa, foi utilizada a utilidade “intermediária”, ou seja, de cada um dos critérios competitivos. Além disso, utilizar a análise conjunta para execução da análise de todos os critérios competitivos em relação a cada uma das matérias primas e as tecnologias de AM seria complexo e demorado. Pois, seria necessário um elevado número de estímulos para corresponder a todas as tecnologias e critérios competitivos, tornando assim, o processo inviável.

O objeto de pesquisa consiste na decisão de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva a partir de um determinado objetivo em um sistema produtivo. A Figura 1 ilustra o desenho de pesquisa.

Figura 1 - Desenho de Pesquisa



Fonte: O Autor (2019) com base em Black (1998).

Na Figura 1, observa-se que a seleção de uma tecnologia de Manufatura Aditiva decorre dos objetivos do sistema produtivo. Contudo, cada uma das opções de tecnologias de AM atende determinados critérios competitivos em detrimento de outros. Por consequência, a tomada de decisão da tecnologia de AM a ser empregada,

está relacionada às necessidades do sistema produtivo e as tecnologias de AM disponíveis somada a priorização de determinado(s) critérios competitivos. Em meio a esse processo, encontra-se o objeto de pesquisa, ou seja, a seleção da tecnologia de Manufatura Aditiva apropriada para determinada situação de interesse.

Em síntese, a quantidade elevada de tecnologias de AM e as características heterogêneas tornam o processo de tomada de decisão complexo e de dificuldade elevada para as organizações. Além disso, a falta informação e de ferramentas de comparabilidade elevam os riscos de investimento de capital para as empresas e também, contribuem para que processo de seleção e consequente decisão seja penoso. Adicionalmente, a variabilidade das estratégias das organizações para manter sua relevância perante aos concorrentes e aos consumidores, assim como, para atender as exigências de mercado, exige uma constante adaptação dos sistemas produtivos. Onde, além do sistema produtivo ser capaz de atender às especificações de Engenharia, o mesmo deve estar apto a se adaptar para manufaturar os novos produtos com eficiência. Uma das maneiras, é estar alinhado a estratégia traçada pela empresa, para isto, é necessário atender aos critérios competitivos priorizados pela organização.

Paralelamente, o processo de escolha do local de aplicação da tecnologia de AM deve considerar os problemas descritos nesta seção. Por fim, lista-se os argumentos expostos para sustentar o problema de pesquisa desta dissertação sob o ponto de vista acadêmico e empresarial: i) quantidade elevada de tecnologias de AM; ii) características heterogêneas das tecnologias de AM ; iii) falta de ferramentas de comparabilidade; iv) *gap* existente na literatura; v) dificuldade na tomada de decisão quanto a seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva; vi) assegurar o alinhamento à estratégia da organização; e vii) definição do local de aplicação da tecnologia de AM.

Dado esse contexto, emerge a questão central deste trabalho: **Como selecionar uma tecnologia de Manufatura Aditiva para um sistema produtivo?** Na próxima seção, apresenta-se os objetivos e os resultados almejados por esta pesquisa.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo de apoio à tomada de decisão baseado nas características das tecnologias aditivas e nos critérios competitivos para seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva em sistemas produtivos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Estruturação de base de dados das tecnologias abordadas nesta pesquisa;
- b) Análise comparativa das tecnologias de AM;
- c) Apresentar uma integração da AHP com a Análise Conjunta para ordenamento das tecnologias conforme preferências dos usuários;
- d) Avaliar o método proposto sob três aspectos distintos: do ponto de vista do decisor, do fornecedor e do especialista.

Na próxima seção serão apresentadas as justificativas para execução desta pesquisa, sob o ponto de vista acadêmico e empresarial.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com objetivo de identificar o conhecimento existente acerca do objeto de pesquisa, seguiu-se o procedimento de revisão sistemática de literatura proposto por Morandi e Camargo (2015). Esta etapa teve início com a elaboração do protocolo de revisão sistemática da literatura que se encontra no Apêndice A. Foram pesquisados os termos “Tecnologias de Manufatura Aditiva” e “Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva” em bases nacionais e internacionais. Não foi utilizado recorte

temporal, dado o objetivo de verificar as publicações que se relacionam a questão de pesquisa, mas também a busca de uma compreensão mais ampla do tema.

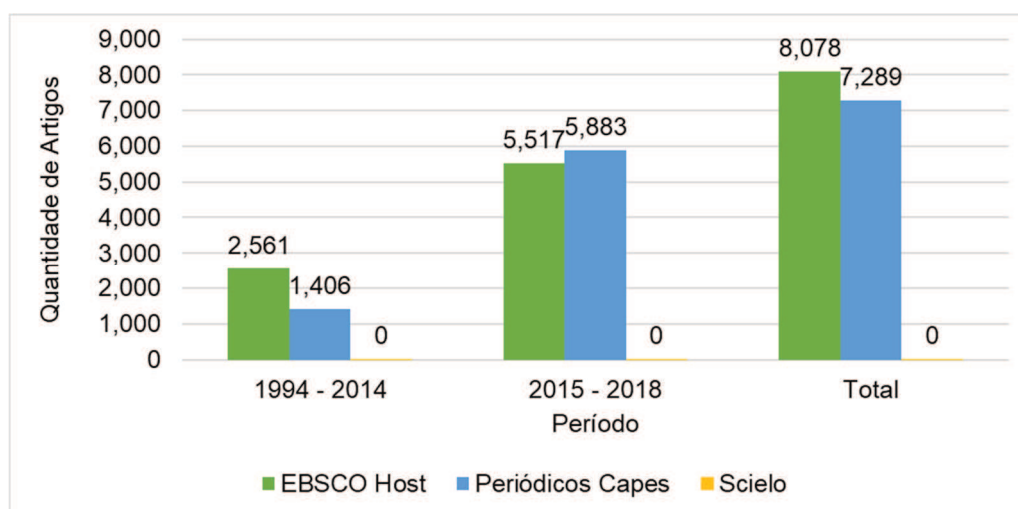
Assim, foram obtidos 1.874 resultados, onde, após uma análise dos títulos, 350 artigos foram selecionados e categorizados por tema e/ou tecnologia e/ou assunto abordado. Após a categorização, foi necessário criar os seguintes critérios de exclusão:

- Artigos de desenvolvimento de novos materiais que não apresentassem características sobre as máquinas de Manufatura Aditiva em questão;
- Experimentos, estudos ou pesquisas com informações gerais que não agreguem conhecimento ao tema desta pesquisa.

Foram selecionados 136 artigos. Estes foram utilizados na construção da seção 2 – Referencial Teórico e podem ser visualizados no Apêndice “E”. Destes, 6 artigos se relacionavam ao tema desta pesquisa. Para seleção destas seis pesquisas, foram considerados apenas os trabalhos que, efetivamente, propunham algum método, modelo, framework e/ou ferramenta de seleção de tecnologias de AM. Percebe-se, que estes 6 artigos, representam apenas 2% do total selecionado.

O Gráfico 2 ilustra o horizonte temporal no meio acadêmico do termo “Manufatura Aditiva”. As pesquisas foram divididas em dois recortes temporais para destacar o aumento no número de pesquisas nos últimos três anos.

Gráfico 2 - Horizonte Temporal do Termo "Manufatura Aditiva



Fonte: Veit (2018).

Os resultados sugerem que as tecnologias de AM têm recebido maior atenção pela comunidade científica a partir de 2015. Pois, quando comparado esse período de

três anos com os últimos vinte anos de pesquisa, percebe-se que houve um aumento de quase 300%. Contudo, apesar das pesquisas terem aumentado significativamente, os problemas descritos na seção anterior, dentre eles a falta de ferramentas de comparabilidade, *gap* na literatura, entre outros, permanecem.

Além disso, das 6 pesquisas sobre seleção de tecnologias de AM, quatro ocorreram nos últimos 4 anos. Sugerindo que este tema não tem tido atenção por parte da academia, contudo, indica que este assunto começa a ser debatido pela comunidade acadêmica, ainda que de maneira insatisfatória. Esta pesquisa pode contribuir para diminuir a falta de ferramentas para apoio à tomada de decisão quanto a seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos. Adicionalmente, estudos evidenciam que, aproximadamente, de 80 à 90% das empresas ainda não possuem experiência ou estão experimentando/testando as tecnologias de AM (ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; SCULPTEO, 2017). Destaca-se, assim, a importância crescente de haver modelos de seleção de tecnologias de AM.

Foram encontradas pesquisas sobre AM em diversos segmentos, tais como área de ciências da saúde (TSAI; WU, 2014; SCHELLY et al., 2015; BRUNELLO et al., 2016; RUI et al., 2016; FATEMI et al., 2017; PUCCI et al., 2017), engenharia (YASA; KRUTH, 2011; KARA, 2013; HOLMES; RIDDICK, 2014; DING et al., 2015; VARTANIAN; MCDONALD, 2016; LI; KUCUKKOC; ZHANG, 2017), ciências biológicas (DELGADO et al., 2010; MAZZOLI, 2013; POH et al., 2016; ZADPOOR, 2017), entre outras. Esses trabalhos corroboram com o fato de que a AM é e será empregada nas mais diversas aplicações (GRYNOL, 2012; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; SCULPTEO, 2017).

Há dificuldades e falta de estudos quanto à seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva (RAO; PADMANABHAN, 2007; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; PARK; TRAN, 2017). Os resultados encontrados mostram que há limitações quanto à seleção de tecnologias de AM, havendo assim, espaço para novas proposições. Ou seja, de fato, esta pesquisa contribuirá para reduzir as lacunas existentes, ao menos parcialmente. Essas lacunas se referem aos parâmetros considerados para a avaliação, a inclusão dos critérios competitivos e consequente tradução da estratégia da organização, automatização do processo, os objetivos do sistema produtivo e apoio a tomada de decisão.

Das 6 pesquisas (Quadro 33 – Apêndice A) encontradas na literatura, que se relacionam ao tema desta pesquisa, nenhuma das 6 pesquisas utilizou AHP e Análise Conjunta de maneira conjunta. A pesquisa de Rao e Padmanabhan (2007) apresenta uma metodologia para seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva utilizando uma abordagem matricial e teoria dos gráficos. Esse artefato possui como ponto positivo a organização de uma base conceitual (posterior discussão), atributos utilizados para seleção e a possibilidade de visualização dos vários atributos presentes e suas inter-relações por meio da representação gráfica. No entanto, é necessário identificar e quantificar a importância dos atributos para determinada peça (cada nova peça).

Mellor, Hao e Zhang (2014) desenvolveram um *framework* para auxiliar na adoção de tecnologias de Manufatura Aditiva. Destaca-se por ser voltado a implantação de tecnologias aditivas, ou seja, torna-se um complemento a presente pesquisa. Mançanares et al. (2015) desenvolveram um método para selecionar uma tecnologia aditiva mais adequada considerando produzir uma peça específica. Conforme defendido por Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015), é importante que o conhecimento gerado possa ser generalizado a outras situações/problemas, dada a especificidade desta pesquisa, destaca-se negativamente neste aspecto.

Khaleeq Uz Zaman et al. (2016) propõe uma metodologia de seleção de tecnologias integrada com o desenvolvimento do produto e processo. Destaca-se positivamente por integrar no processo decisório técnicas do universo da Manufatura Aditiva voltadas a projeto, como DFM e DFAM. Contudo, não seleciona tecnologias, apenas indica se deve ser utilizado manufatura tradicional ou Manufatura Aditiva.

Park e Tran (2017) apresentam um sistema de suporte à decisão para selecionar um método de impressão 3D apropriado para imprimir produtos. Utilizam diversos atributos para a tomada de decisão, no entanto, apenas indicam a funcionalidade do método, todo o desenvolvimento foi feito de maneira fechada – impedindo eventuais replicações ou contribuições adicionais de outros pesquisadores.

Por fim, Gokuldoss, Kolla e Eckert (2017), abordam de maneira conceitual/teórica as diretrizes de seleção para três Tecnologias de Manufatura Aditiva. Contudo, não desenvolvem método ou modelo de seleção, apenas indicam 7 parâmetros “comuns” que deveriam ser considerados no momento da seleção.

Em relação à pesquisa de Mançanares et al. (2015), este trabalho avança, pois, diferentemente, o modelo proposto pode ser utilizado em uma ampla variedade de situações, além de possibilitar, por meio dos critérios competitivos, a aproximação

com a estratégia da organização. Por fim, em contraposto ao desenvolvido por Rao e Padmanabhan (2007), esta pesquisa propõe um modelo automatizado. Ou seja, sua aplicabilidade nas organizações é de baixo nível de complexibilidade e fácil execução. Além disso, com o aumento do mercado de Manufatura Aditiva, esta pesquisa, para execução do modelo, utiliza as técnicas AHP e análise conjunta. Tornando assim, o modelo de fácil inclusão de novas tecnologias e rápida implantação. O Quadro 1 a síntese das pesquisas que se relacionam ao tema desta pesquisa e o Quadro 2 exhibe a síntese das críticas aos trabalhos existentes.

Quadro 1 – Síntese das 6 Pesquisas que se relacionam a este Trabalho

TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	SÍNTESE	CONTRIBUIÇÕES	LIMITAÇÕES
Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting—Selection Guidelines	Prashanth Konda Gokuldoss, Sri Kolla, Jürgen Eckert	2017	Aborda de maneira conceitual/teórica as diretrizes de seleção para seguintes tecnologias de manufatura aditiva: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting e Binder Jetting. Os atributos considerados pelos autores são: tipo de material, especificações/limitações da tecnologia, características (propriedades) das peças, aplicação das peças, requerimentos de pós processamento, qualidade de acabamento e precisão.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Atributos utilizados para seleção; - Tecnologias abordadas (parcial – apenas 3). 	- Não desenvolve um modelo ou técnica para seleção das tecnologias. Apenas define 7 parâmetros que deveriam ser considerados no momento da escolha. Porém, são parâmetros que sempre serão considerados (qualidade, acuracidade, material, etc) no momento da escolha, a pesquisa deveria ter abordado critérios de maior importância, não somente os "básicos".
A Decision Support System for Selecting Additive Manufacturing Technologies	Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran	2017	O artigo aborda um sistema de suporte à decisão para selecionar um método de impressão 3D apropriado. Para a realização do sistema de apoio à decisão, foram construídos bancos de dados sobre materiais, métodos de impressão em 3D e propostas regras para a tomada de decisões. O sistema permite selecionar um método de impressão 3D apropriado a partir dos requisitos de produtos inseridos.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Diversos atributos para seleção de tecnologia aditiva e comparação entre os mesmos. 	- Utiliza SQL, Java e Eclipse para desenvolver o sistema de apoio a decisão. Contudo, de maneira fechada, ou seja, não apresenta o método de seleção das escolhas com base nas necessidades informadas; - Afirma que o sistema funcionou corretamente, porém não evidencia quais passos foram tomados para validação do método/sistema.
Integrated Product-Process Design to Suggest Appropriate Manufacturing Technology: A Review	Uzair Khaleeq uz Zaman, Ali Siadat, Mickael Rivette, Aamer Ahmed Baqai, Lihong Qiao	2016	Propõe uma metodologia de seleção de tecnologias integrada com o desenvolvimento do produto e processo.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Atributos utilizados para seleção; 	- Utiliza AHP e Ashby's para ranquear com base em pesos (subjetivos e objetivos) e sugerir a tecnologia apropriada em conjunto com os métodos voltados para projeto e/ou montagem (DFAM, DFA) de peças de tecnologias de AM. - Não seleciona tecnologias de AM, apenas, indica qual a mais indicada: manufatura tradicional ou aditiva.
Additive Manufacturing Process Selection Based on Parts' Selection Criteria	Cauê G. Mançanares, Eduardo de S. Zancul, Juliana Cavalcante da Silva, Paulo A. Cauchick Miguel	2015	Método de seleção de tecnologias de manufatura aditiva para componentes específicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Atributos utilizados para seleção. 	- Utiliza Ashby e AHP para ranquear e selecionar a melhor tecnologia com base em pesos atribuídos às características das tecnologias AM; - Como fatores de restrição utiliza apenas dimensões e material.
Additive manufacturing: A framework for implementation	Stephen Mellor, Liang Hao, David Zhang	2014	O crescimento da manufatura aditiva fez aumentar as pesquisas na área de tecnologias e matérias-primas, entretanto, há falta de estudos quanto ao processo de implantação. Esta pesquisa traz um framework buscando orientar os esforços na adoção de tecnologias de manufatura aditiva.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Busca facilitar a implantação e a presente pesquisa, busca facilitar a escolha da tecnologia a ser implantada. 	- O framework desenvolvido é voltado para implantação de determinada tecnologia de manufatura aditiva. Ou seja, não aborda de forma aprofundada o processo de escolha.
Rapid prototyping process selection using graph theory and matrix approach	R. Venkata Rao, K.K. Padmanabhan	2007	Seleção de tecnologias de manufatura aditiva utilizando teoria do gráfico e abordagem matricial.	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de uma base conceitual para posterior discussão; - Atributos utilizados para seleção; - Possibilita a visualização de vários atributos presentes e suas inter-relações, utilizando a representação gráfica. 	- É necessário identificar os atributos para determinada peça e posteriormente, deve-se quantificar a importância de cada atributo; - Posteriormente, é necessário desenvolver a parte estatística (teoria de gráficos e método de matrizes), para então, tomar a decisão final. Ao final, não é prático, rápido ou de fácil aplicação.

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 2 – Síntese de Críticas dos Trabalhos Existentes

CRÍTICA	AUTORES					
	Prashanth Konda Gokuldoss, Sri Kolla, Jürgen Eckert (2017)	Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran (2017)	Uzair Khaleeq uz Zaman, Ali Siadat, Mickael Rivette, Aamer Ahmed Baqai, Lihong Qiao (2016)	Cauê G. Mançanares, Eduardo de S. Zancul, Juliana Cavalcante da Silva, Paulo A. Cauchick Miguel (2015)	Stephen Mellor, Liang Hao, David Zhang (2014)	R. Venkata Rao, K.K. Padmanabhan (2007)
Abrangência de poucas tecnologias de AM	x			x		
Complexidade elevada						x
Especificidade do proposto (difícil generalização)			x	x	x	
Falta de padronização				x		x
Método/modelo proposto de maneira superficial		x				
Não vinculação com os critérios competitivos	x	x	x	x	x	x
Possibilidade de desalinhamento em relação a estratégia da organização	x	x	x	x	x	x
Poucos critérios para análise	x					
Processo não automatizado						x

Fonte: O Autor (2019).

Desta forma, esta pesquisa contribui para redução das lacunas existentes na literatura e a falta de ferramentas de apoio a tomada de decisão, facilitando assim, o processo de tomada de decisão. Expostas as contribuições sob o ponto de vista acadêmico, destacam-se as contribuições para as organizações.

A sociedade está em um período de transição e as tecnologias de AM levarão a transformações significativas, alterando a economia, sociedade e o dia a dia (GRYNOL, 2012; PÎRJAN; PETROȘANU, 2013). O relatório da IDC - *Analyse The Future* (2016) expõe o crescimento da Manufatura Aditiva, onde prevê que até 2020, as receitas globais do mercado de AM cheguem a 35,4 bilhões de dólares, mais do que o dobro em relação à 2016. Observa-se que não há tendência de estagnação, nesta perspectiva, esta pesquisa visa fornecer informações relevantes, sendo elas características das tecnologias aditivas, relação com os critérios competitivos, entre outras, para que as organizações possam optar, com precisão, pela tecnologia de Manufatura Aditiva adequada para os objetivos almejados em seus sistemas produtivos.

Com o aumento do mercado de Manufatura Aditiva, o processo de seleção se tornará ainda mais difícil, sendo assim, destaca-se a importância do desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisão em sistemas produtivos para as organizações. Para tornar o processo de seleção menos complexo, é necessário adotar técnicas estatísticas. Este trabalho, utiliza a AHP para execução da análise pareada das tecnologias e a análise conjunta para traduzir as preferências dos entrevistados por meio dos critérios competitivos.

Entretanto, apesar do constante crescimento, ainda não há ferramentas de apoio à seleção e/ou comparação (*benchmarking*) quanto às performances das diferentes tecnologias de AM e materiais existentes no mercado. Para resolver o problema de comparabilidade, Mohr e Khan (2015) destacam a importância de que seja desenvolvido normas para a AM, objetivando padronizar as informações quanto aos dados sobre as máquinas, materiais, padrão de *software*, entre outros. Nesse sentido, esta pesquisa destaca-se por comparar 9 tecnologias, facilitando assim, o processo de seleção, por padronizar as informações referentes à essas tecnologias.

Outro aspecto que corrobora a contribuição desta pesquisa para as organizações está associado à consolidação e estruturação das tecnologias de AM. Pois, dado o conjunto de especificações e diretrizes reunidas, auxilia para sanar a falta de informação e experiências por parte dos usuários e das organizações apontadas pelos autores Gokuldoss; Kolla; Eckert, (2017), Park; Tran (2017) e Rao; Padmanabhan (2007).

Para que as organizações alcancem vantagens competitivas sustentáveis, é necessário que se diferenciem dos seus concorrentes (HUM; LEOW, 1996; MANZINI

et al., 2004; SLACK; LEWIS, 2009). Uma das formas de realizar essa diferenciação é por meio dos critérios competitivos. Dado este fato, outro aspecto de destaque, é a relação do processo de seleção com os critérios competitivos. Pois, nesta pesquisa, o processo de seleção de tecnologias de AM é executado por meio da priorização dos critérios competitivos. Com isso, ao final do processo, o modelo de apoio à tomada de decisão desenvolvido nesta pesquisa, indicará a tecnologia que, além de ser a mais adequada ao sistema produtivo em questão, estará alinhada à estratégia da organização.

Quanto ao custo de aquisição, apesar do preço médio dos equipamentos estar reduzindo, o elevado valor de investimento ainda é um entrave para a implantação de tecnologias aditivas (THOMAS; GILBERT, 2014; BAUMERS et al., 2016). Resultando assim, em uma decisão que exige alto risco e capital, nesse sentido, esta pesquisa contribui ao reduzir o risco vinculado à tomada de decisão. Pois, além de garantir que a tomada de decisão esteja alinhada aos critérios competitivos e, por consequência, a estratégia da empresa, reduzirá também, erros no processo de seleção. Contribuindo para sanar os problemas abordados anteriormente, entre eles, destaca-se as características heterogêneas das tecnologias de AM, a falta de ferramentas de seleção e o *gap* existente na literatura.

Em síntese, esta pesquisa se justifica tanto do ponto de vista acadêmico, quanto das organizações. Pois, ao fornecer um estudo aprofundado sobre um modelo de apoio à seleção contemplando 9 tecnologias de AM, esta pesquisa trará subsídios para que gestores de sistemas produtivos e pesquisadores tomem decisões estratégicas de maneira efetiva e com base em critérios previamente estabelecidos, tornando-se um estudo com implicações práticas e relevantes. Adicionalmente, auxilia para diminuir a falta de conhecimento por parte das organizações e a falta de pesquisas no meio acadêmico. Uma vez que, como apresentado, apesar do crescimento da Manufatura Aditiva e a aplicabilidade da mesma em diversos segmentos (Engenharia, Ciências Biológicas, Ciências da Saúde, etc), há falta de pesquisas na área de seleção de tecnologias de AM. Além disso, este trabalho traduz as necessidades das organizações por meio da utilização dos critérios competitivos, assegurando assim, a competitividade das empresas. Na próxima seção será apresentada as delimitações deste trabalho.

1.4 DELIMITAÇÕES

Conforme Marconi e Lakatos (2002), delimitar a pesquisa é estabelecer limites para a investigação, sendo possível limitar em relação ao assunto, a extensão e a uma série de fatores (prazos, meios econômicos, etc.). Conforme apresentado, encontrou-se na revisão da literatura mais de 40 tecnologias de Manufatura Aditiva, dentre elas: *Continuous Liquid Interface Production* (CLIP), *Continuous Digital Light Processing* (CDLP), *Digital Light Processing* (DLP), *Direct Metal Laser Sintering* (DMLS), *Drop on Demand* (DOD), *Nano Particle Jetting* (NPJ), *Selective Deposition Lamination* (SDL), entre outras. A primeira delimitação desta pesquisa trata-se das tecnologias estudadas, foram abordadas as 9 tecnologias de maior relevância na revisão sistemática da literatura e também, no meio empresarial (mais utilizadas) (REDWOOD, 2017). Contudo, pesquisas futuras, poderão incluir essas e outras ao modelo conforme as respectivas representatividades aumentarem, além dos artigos científicos disponíveis para estudo.

Este estudo não contemplará os equipamentos disponíveis no mercado, o modelo de apoio à decisão proposto tratará apenas de indicar a tecnologia adequada e suas características; essas características se mantêm nos diversos equipamentos. Adicionalmente, com relação ao valor de aquisição dos equipamentos, o mesmo foi obtido através de dois meios: *site* do fabricante e quando não disponível, através do *site* Aniwaa.

A análise sobre custos de manutenção, operação e retorno do investimento da tecnologia aditiva escolhida por determinada organização, não se aplica ao escopo desta pesquisa. Pressupõe-se, que a empresa, ao optar por implantar a AM, tenha feito todas as análises necessárias acerca da realização de um investimento para aquisição de equipamentos para incremento do sistema produtivo, ou seja, haverá retorno financeiro para a empresa.

Os métodos voltados para projeto ou montagem de componentes, tais como *Design for Additive Manufacturing* (DFAM) e *Design for Assembly* (DFA), não estão incluídos no escopo desta pesquisa. Pois, dado o objetivo específico desta pesquisa ser o desenvolvimento de um modelo para seleção de tecnologias de AM, não é necessário descrever práticas de projeto.

Cochet (2016), SVP e Diretor de Produtividade da General Electric, ilustra o que a inovação e a sustentabilidade ambiental das tecnologias aditivas representam para a sociedade e para as organizações.

A evolução da manufatura, bem como seu impacto em nossa economia e na vida cotidiana de nossos cidadãos, é uma conquista constante que precisa ser comemorada. Desde a Revolução Industrial até a era da linha de montagem e, agora, com a ascensão das atuais tecnologias digitais e impressão 3D, a indústria manufatureira sempre foi uma incubadora da engenhosidade. Empresas de todo o mundo estão batalhando para incorporar capacidades digitais a suas operações.

Pode-se afirmar que o critério competitivo inovação, quanto à Manufatura Aditiva, é a junção de todos os demais critérios. Pois, para se ter a inovação, além do setor de pesquisa e desenvolvimento, será necessária todas ou parte das características que as tecnologias de AM permitem. Conforme Engineers (2017), Tran et al. (2017), Ford (2014), Mahamood et al. (2014) e Wong e Hernandez (2012), essas características podem ser: flexibilidade quanto às formas geométricas, materiais, redução de custos no desenvolvimento ou customização em massa, entre outras. Por fim, dadas essas razões, os critérios competitivos inovação e responsabilidade socioambiental não serão discutidos em maior profundidade e, conseqüentemente, inclusos no modelo de seleção, por estarem intrinsecamente vinculados à cada uma das tecnologias. Adicionalmente, com intuito de reduzir o número de estímulos (cartões) da análise conjunta, os critérios competitivos confiabilidade e confiabilidade de entrega, não serão tratados de maneira individual.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa está estruturada em sete capítulos. O primeiro apresenta o tema, objeto e o problema desta pesquisa. Onde, contextualiza-se, abordam-se dados relevantes ao trabalho e apresenta-se o contexto teórico em que este trabalho está inserido e que pretende contribuir. Também, é evidenciado o objetivo geral e os específicos a serem tratados, além da justificativa para o meio acadêmico e empresarial.

O segundo capítulo é o referencial teórico. Nele serão abordados conceitos e características sobre a Manufatura Aditiva e algumas das tecnologias de AM, além de sistemas produtivos, critérios competitivos, aspectos referentes às seleções de

tecnologias e as técnicas estatísticas AHP e Análise Conjunta. Esses tópicos contribuíram para a elaboração do modelo.

O terceiro capítulo explana a metodologia da pesquisa, a qual está dividida em: delineamento da pesquisa, método de trabalho e coleta e análise de dados.

O quarto capítulo refere a proposição e desenvolvimento do artefato desta pesquisa. Onde, detalhar-se o processo de construção do artefato, as funcionalidades e a interface. Incluindo o processo referente à estatística (AHP e Análise Conjunta), além da dinâmica entre as duas técnicas.

O quinto capítulo apresenta os resultados encontrados referentes às três situações distintas (decisor real, fornecedor e especialista). Por fim, no sexto capítulo é realizada a discussão dos resultados e no sétimo são divulgadas as considerações finais da pesquisa, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

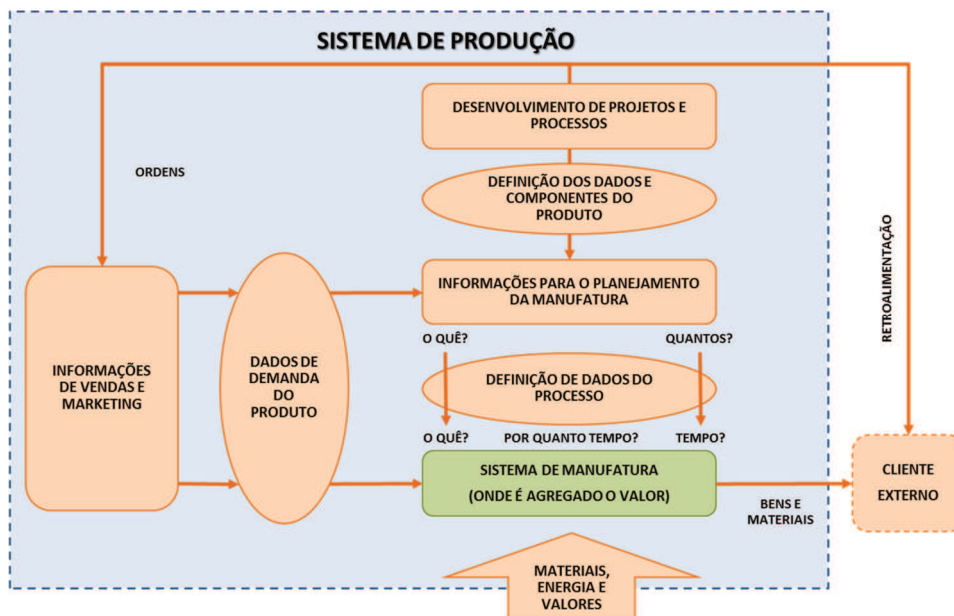
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será apresentado o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa. Os conceitos abordados são: sistemas produtivos, Manufatura Aditiva e suas tecnologias, critérios competitivos, seleção de tecnologias para a manufatura e os métodos estatísticos Análise Conjunta e AHP.

2.1 SISTEMAS PRODUTIVOS

O sistema de Produção das organizações pode ser entendido como uma arma competitiva (SKINNER, 1974). Sistemas produtivos empregam diversos processos de adição de valor para transformar matérias-primas em partes ou produtos finais (WU, 1992). Sendo responsável também, pela efetivação das ações no sentido de operacionalização das funções de planejamento e controle do fluxo global de produção (ANTUNES et al., 2008). Ainda, conforme Black (1998), tem a função de apoiar os Sistemas de Manufatura. A Figura 2 representa a relação ente o Sistema de Produção e o Sistema de Manufatura.

Figura 2 - Relação do Sistema de Produção e Sistema de Manufatura



Fonte: Adaptado de Black (1998).

Um sistema produtivo organiza recursos físicos, humanos, econômico, tecnológicos, financeiros, instalações, procedimentos e processos com objetivo de transformar o material recebido dos fornecedores em produtos que atendam às

necessidades dos clientes (VOLLMAN et al., 2006). Antunes et al. (2008) lista os seguintes aspectos que devem ser considerados para o andamento do sistemas produtivo: i) controle dos estoques, refere-se à definição das quantidades ideais de venda, compra e material em processo; ii) gestão de acidentes, com objetivo de reduzir a zero; iii) gestão ambiental, com objetivo de reduzir os resíduos industriais; iv) gestão da produção, no que se refere a responder as perguntas “onde”, “quando”, “quanto”, “o que” e “como” produzir; por consequência, v) sincronizar fluxo produtivo; vi) gestão da qualidade, reduzindo (tendência a zero) defeitos durante o fluxo produtivo; vii) manutenção, objetivando a confiabilidade das máquinas e por fim, viii) melhoria contínua em todos os aspectos listados anteriormente.

Com relação às tecnologias aditivas, percebe-se a movimentação das empresas no sentido da implementação e utilização da Manufatura Aditiva em seus sistemas produtivos (VEIT, 2018). Contudo, a Manufatura Aditiva será uma ferramenta adicional, utilizada quando houver um melhor custo x benefício (FORD, 2014; PERSONS, 2015). Como impactos positivos da Manufatura Aditiva nos sistemas produtivos pode-se listar a complementação da manufatura tradicional, flexibilidade de produção, adequada para sistemas de volume reduzido e alta variedade, redução dos prazos de entrega e maior eficiência da cadeia de abastecimento, viabilização do *layout* celular, entre outros (D’AVENI, 2013; COHEN; GEORGE; SHAW, 2014; FORD, 2014; FRAZIER, 2014; GARDINER, 2015; PERSONS, 2015; VEIT, 2018). Os impactos negativos são o não oferecimento de economia de escala, operação de pós processamento para acabamento e inviabilização para produção em massa (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012; D’AVENI, 2013; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014; BEN-NER; SIEMSEN, 2017; VEIT, 2018).

Adicionalmente, as organizações estão sob constante pressão quanto ao desenvolvimento de novos produtos (CHIRUMALLA, 2018). O lançamento de novos produtos traz implicações gerenciais e aos processos produtivos nos sistemas de produção (CHIRUMALLA, 2018). Esse problema de desenvolvimento de produtos e sistemas de produção tem se tornado cada vez mais atual, principalmente, devido a competitividade entre as organizações (COLLAINE; LUTZ; LESAGE, 2002). Por isto, as organizações e seus sistemas produtivos, devem possuir ferramentas para apoiar seu desenvolvimento (COLLAINE; LUTZ; LESAGE, 2002). Neste ambiente de pesquisa e desenvolvimento de produto, a Manufatura Aditiva também tem se

destacado (FRUTOS, 2015; CERDAS et al., 2017; LINDWALL; DORDLOFVA; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, 2017; STAFFANSON; RAGNARTZ, 2018).

As tecnologias de AM têm contribuído para o desenvolvimento de novos produtos, visto que, reduzem significativamente os custos associados, seja em protótipos produzidos na manufatura tradicional, ferramentas adicionais, entre outros – além do tempo (COLLAINE; LUTZ; LESAGE, 2002; FRUTOS, 2015; CERDAS et al., 2017; LINDWALL; DORDLOFVA; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, 2017). Contudo, as organizações, necessitam inovar seus processos de desenvolvimento de novos produtos para que as tecnologias de Manufatura Aditiva tenham seu potencial explorado de melhor forma e assim, garantindo o futuro de longo prazo (LINDWALL; DORDLOFVA; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, 2017; STAFFANSON; RAGNARTZ, 2018). Por fim, paralelamente, para que o desenvolvimento tenha toda sua capacidade explorada, é necessário que as empresas forneçam *softwares* e capacitações adequadas, além de possuir mão de obra qualificada nas áreas de processos produtivos e produtos acabados (LINDWALL; DORDLOFVA; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, 2017).

Com relação à definição dos dados e componentes do produto (BLACK, 1998) definido como Engenharia de Processos por Veit (2018), destaca-se as melhorias quanto ao aumento da velocidade e desempenho das tecnologias de AM, além da queda dos preços e variedade de insumos (FORD, 2014). Por fim, destaca-se negativamente o fato de os processos realizados pelas tecnologias de AM não serem precisos ou robustos suficientemente para serem utilizados para fabricação em massa de produtos comerciais (MISHRA, 2013; MAHAMOOD et al., 2014b) (MAHAMOOD et al., 2014; MISHRA, 2013). Isto resultaria em custos mais altos para a produção de grandes séries em relação à moldagem por injeção e outras tecnologias que podem limitar o uso da Manufatura Aditiva (BERMAN, 2012; VEIT, 2018).

Por fim, quanto às informações para o planejamento e controle de produção, com a redução do número de operações devido à utilização das tecnologias de AM pelos sistemas produtivos, verifica-se a tendência da diminuição da complexidade do planejamento e programação da produção (VEIT, 2018). A redução dessa complexidade é resultado da não necessidade de sequenciamento de processos excessivos, equipamentos especiais para processamento de materiais em cada etapa de fabricação, transporte de máquina para máquina, etc (LECKLIDER, 2017). A próxima seção aborda a Manufatura Aditiva e suas tecnologias.

2.2 MANUFATURA ADITIVA

Manufatura Aditiva é um conjunto de tecnologias que fabrica objetos tridimensionais a partir de modelos digitais por meio do processo de adição de material, estes materiais podem ser metais, cerâmicas, polímeros, entre outros (FORD, 2014; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), 2016). A adoção em massa das tecnologias de Manufatura Aditiva alterará o futuro das organizações, seja em aspectos relativos a cadeia de suprimentos, produção, manutenção, economia global, entre outros (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016).

A Norma ISO/ASTM 52900 classifica as tecnologias de Manufatura Aditiva em 7 classes, são elas: *Binder Jetting*, *Directed Energy Deposition*, *Material Extrusion*, *Material Jetting*, *Powder Bed Fusion*, *Sheet Lamination*, *Vat Photopolymerisation*. O Quadro 3 exibe as tecnologias abordadas e suas respectivas classes de acordo com a Norma ISO/ASTM 52900.

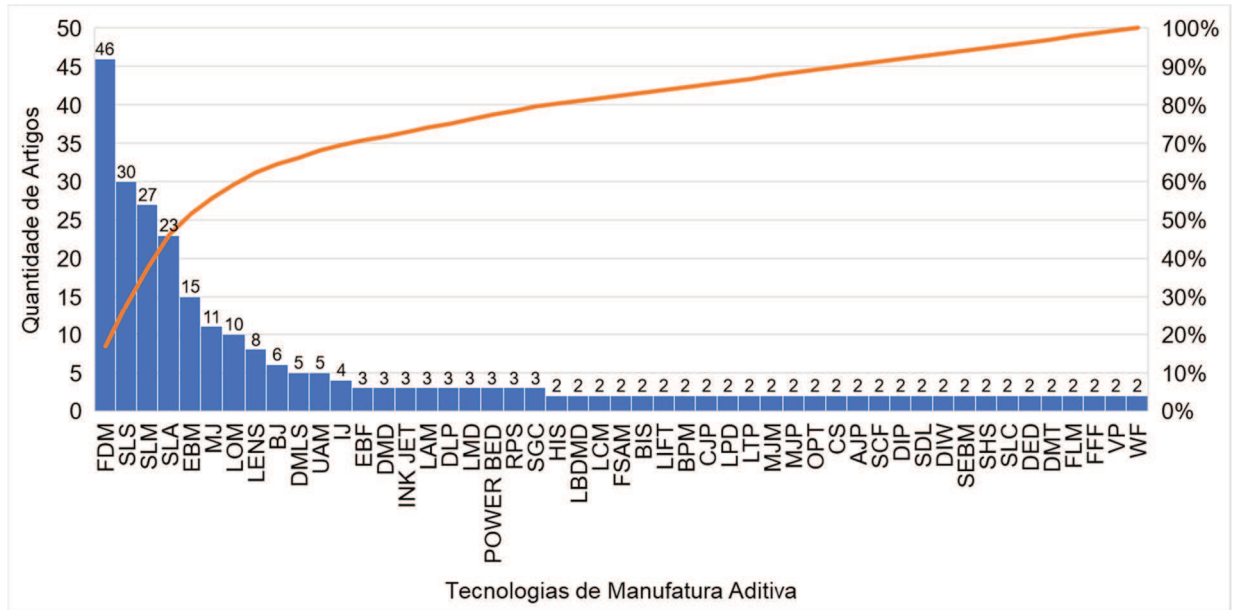
Quadro 3 - Classificação das Tecnologias de Manufatura Aditiva

Classes de Manufatura Aditiva conforme ISO/ASTM 52900	Tecnologias de AM abordadas nesta pesquisa
<i>Binder Jetting</i>	<i>Binder Jetting</i> (BJ)
<i>Directed Energy Deposition</i>	<i>Laser Engineering Net Shape</i> (LENS)
<i>Material Extrusion</i>	<i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)
<i>Material Jetting</i>	<i>Material Jetting</i> (MJ)
<i>Powder Bed Fusion</i>	<i>Electron Beam Melting</i> (EBM)
	<i>Selective Laser Sintering</i> (SLS)
	<i>Selective Laser Melting</i> (SLM)
<i>Sheet Lamination</i>	<i>Laminated Object Manufacturing</i> (LOM)
<i>Vat Photopolymerisation</i>	<i>Stereolithography</i> (SLA)

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em 3D HUBS (2016).

Dentre as diversas tecnologias de Manufatura Aditiva encontradas na revisão sistemática da literatura, 9 tecnologias foram selecionadas. O critério de seleção utilizado foi a quantidade de artigos encontrados na revisão da literatura a tratar da tecnologia de AM evidenciados no Gráfico 3 e também por serem as mesmas tecnologias aditivas citadas como mais populares na indústria (3D HUBS, 2016; 3D INSIDER, 2017; REDWOOD, 2017).

Gráfico 3 – Pareto dos Tecnologias de AM encontradas na Literatura



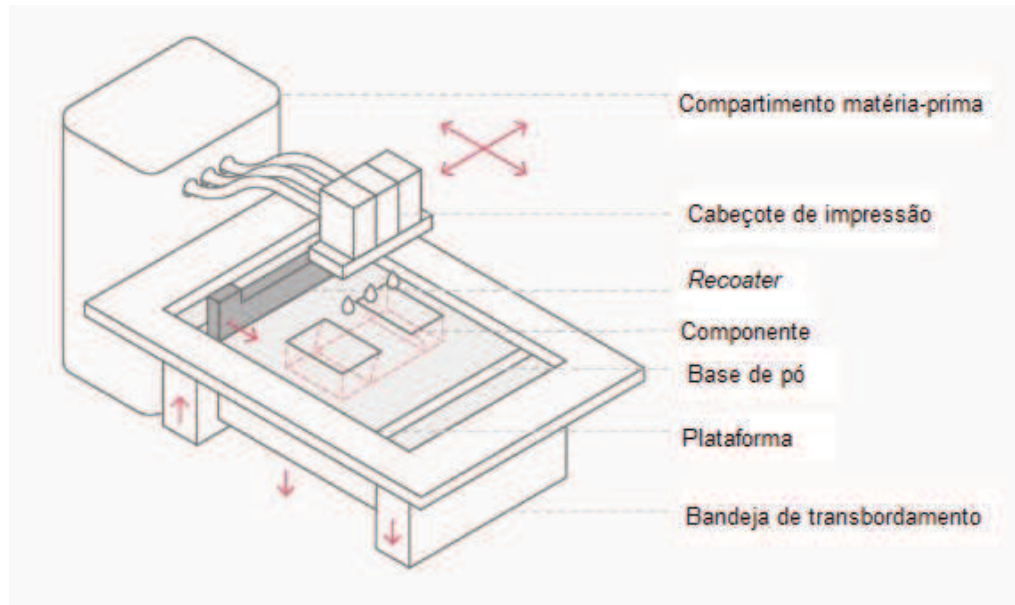
Fonte: O Autor (2019).

Nas próximas seções serão apresentadas as 9 tecnologias e, na seção 2.2.10 Síntese das Técnicas de Manufatura Aditiva, apresenta-se as características técnicas das respectivas tecnologias.

2.2.1 Binder Jetting (BJ)

Neste processo um agente líquido é depositado seletivamente para unir o pó de determinado material (GONZALEZ et al., 2016; MALLADI, 2017). Tecnologia utilizada para protótipos, fabricação de moldes para utilização em outras tecnologias e na área de fundição, componentes de metal funcionais, protótipos com coloração (ADDITIVELY, 2017a; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na Figura 3 observa-se processo de impressão da tecnologia BJ.

Figura 3 - Esquema de Impressão - BJ



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffner e Garret (2017).

As vantagens deste processo são ampla disponibilidade de materiais, custo efetivo, velocidade de fabricação, possibilidade de construção sólida, precisão, geometria das peças e dimensões máximas possíveis (ADDITIVELY, 2017a; EXONE, 2017; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; MALLADI, 2017; REDWOOD; SCHÖFFNER; GARRET, 2017). As desvantagens são necessidade de intensivo pós processamento (em alguns casos, duração maior do que a fabricação da peça), propriedades mecânicas e térmicas, baixa resistência mecânica e fragilidade (ADDITIVELY, 2017a; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; MALLADI, 2017; REDWOOD; SCHÖFFNER; GARRET, 2017).

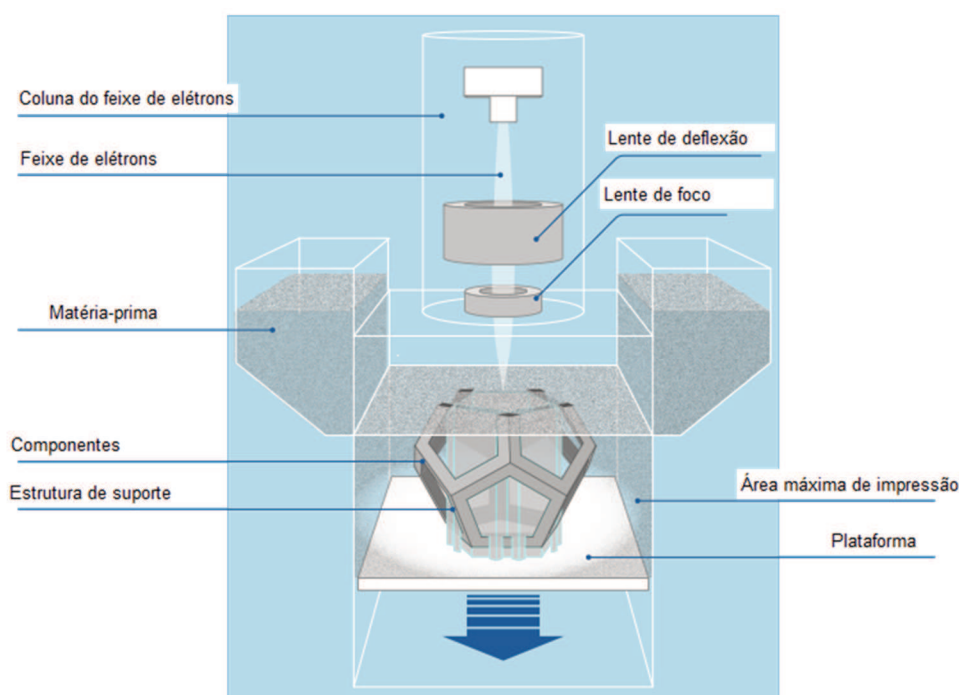
O material utilizado é pó do metal desejado (mais utilizados: aço inoxidável com matriz de bronze ou sinterizado, inconel sinterizado, carboneto de tungstênio sinterizado) com um agente de ligação de polímero ou areia/arenito/gesso/sílica (REDWOOD; SCHÖFFNER; GARRET, 2017). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia EBM.

2.2.2 *Electron Beam Melting* (EBM)

Neste processo, utilizam-se feixes de elétrons para derreter pó de materiais seletivamente, que durante a solidificação fundirão camada a camada (PETCH, 2016;

ENGINEERS., 2017; TRAN et al., 2017). Para melhorar o acabamento, pode-se remover materiais utilizando laser ou efetuar a aplicação de um revestimento PVD (TRAN et al., 2017). Esta tecnologia é utilizada em universidades, centros de pesquisa e empresas (automobilismo, aviação, aeroespacial, medicinal) (GMBH, 2013; ENGINEERS., 2017). Na Figura 4, observa-se processo de impressão da tecnologia EBM.

Figura 4 - Processo de Impressão - EBM



Fonte: Traduzido de Additively (2017b).

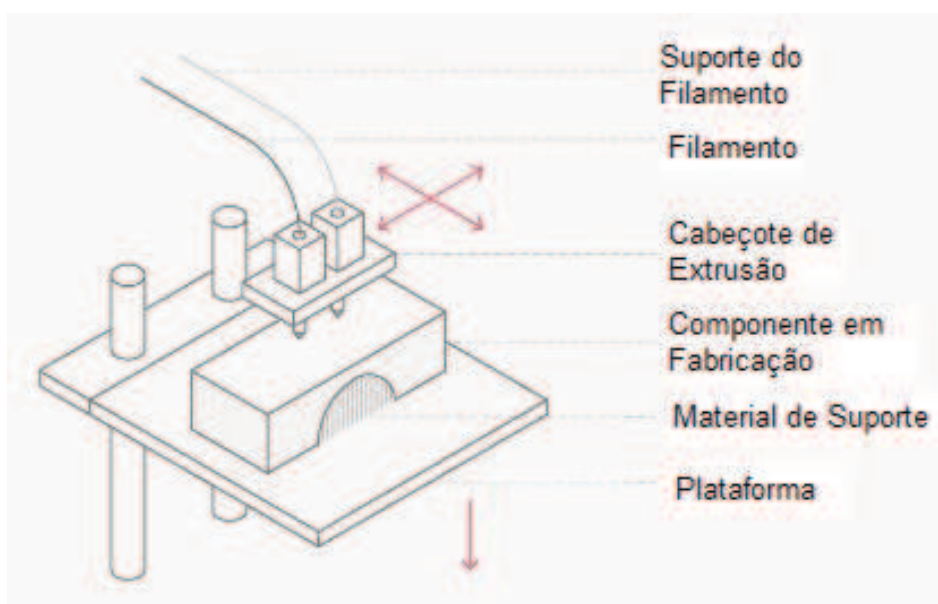
As vantagens são possibilidade de realização de peças complexas, densas e resistentes, precisão, eficiência no uso de matéria-prima e tempo de *lead time* reduzido (HIEMENZ, 2007; GMBH, 2013; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). As desvantagens são o alto custo da tecnologia, necessidade de pós processamento, dimensões máximas, velocidade de manufatura e materiais disponíveis para utilização (HIEMENZ, 2007; ADDITIVELY, 2017b; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

O material utilizado é pó de metal (qualquer material que possa ser soldado), os principais são: alumínio, aço inoxidável, titânio, cromo cobalto e inconel (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção serão apresentadas as características da tecnologia FDM.

2.2.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Neste método, um bocal móvel é utilizado para extrudir um filamento quente, similar a uma pistola de cola quente extremamente precisa, ponto por ponto (GODOI; PRAKASH; BHANDARI, 2016; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Este processo permite utilizar múltiplos materiais durante a fabricação da componente (ENGINEERS., 2017). Tecnologia utilizada em testes de montagem, modelamento, moldes de injeção, alojamentos para componentes eletrônicos, dispositivos, entre outros (MAHAMOOD et al., 2014a; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na Figura 5 observa-se processo de impressão da tecnologia FDM.

Figura 5 - Esquema da Impressora - FDM



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffer e Garret (2017).

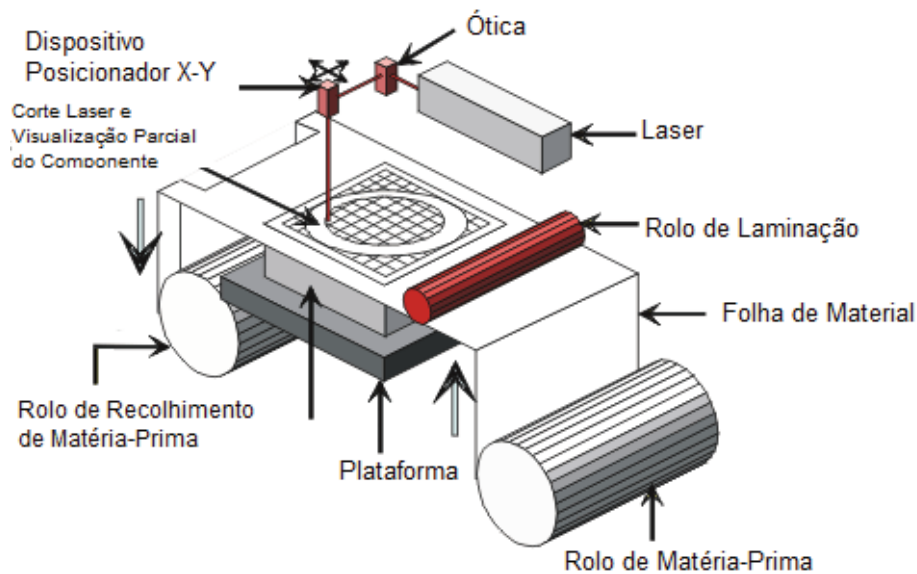
As vantagens deste método são a variedade de materiais, rápido *setup*, velocidade de fabricação, custo de equipamento e de material, dimensão de fabricação das máquinas industriais e complexidade das peças (MAHAMOOD et al., 2014a; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; ENGINEERS., 2017; PELESHENKO et al., 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). São considerados desvantagens o acabamento final, necessidade de pós processamento (melhorar acabamento), precisão, partes com baixa resistência e delaminação devido ao baixo controle de temperatura (MAHAMOOD et al., 2014a; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; ENGINEERS., 2017).

Como matéria-prima são utilizados termoplásticos (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção serão apresentadas as características da tecnologia LOM.

2.2.4 Laminated Object Manufacturing (LOM)

LOM é um processo que combina técnicas aditivas e subtrativas para construção das camadas, onde, as camadas são feitas por materiais revestidos com adesivos e posterior corte a laser para gerar as formas finais (camada a camada) (PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012; MAHAMOOD et al., 2014a). Utilizado em protótipos, fabricação de moldes de injeção, etc (MAHAMOOD et al., 2014a). Na Figura 6 observa-se o processo de impressão da tecnologia LOM.

Figura 6 - Esquema de Impressão - LOM



Fonte: Traduzido de AZO Materials (2013).

As vantagens desta tecnologia são diversidade de materiais, velocidade, custo, possibilidade de produção de partes grandes, baixo índice de resíduo, sem a necessidade de pós processamento (acabamento, reforços estruturais, etc), sem deformações durante o processo de fabricação (PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012; MAHAMOOD et al., 2014a). As desvantagens são a necessidade de um rígido controle de temperatura para evitar danos, os materiais são integrados com adesivos, acabamento da superfície, material utilizado está

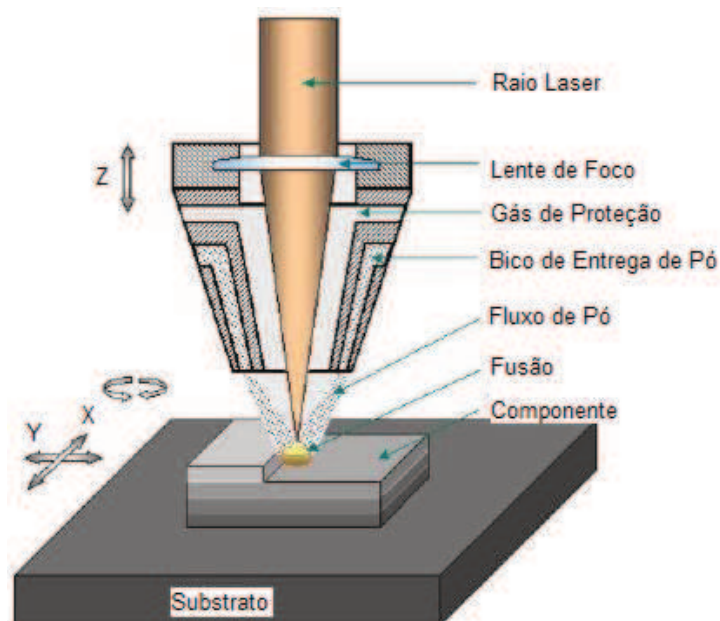
diretamente ligado as características da máquina, propriedades mecânicas e térmicas não são homogêneas, dimensão de fabricação limitada a largura da matéria-prima, impossibilidade de manufaturar peças ocas, resistência está diretamente ligada ao adesivo utilizado (PARK; TARI; HAHN, 2000; PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012; PALERMO, 2013; GROSS et al., 2014; MAHAMOOD et al., 2014a).

Os materiais utilizados são papel, plásticos e compósitos (metais ferrosos, não ferrosos e cerâmicos) (PARK; TARI; HAHN, 2000). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia LENS.

2.2.5 Laser Engineering Net Shape (LENS)

Este processo utiliza um raio laser de alta potência para fundir o pó de metal que é injetado em locais específicos e solidifica-se quando arrefecido (WONG; HERNANDEZ, 2012; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSOLOURIS, 2016). Utilizado para fabricação de componentes próximos da forma final, reparação de componentes e fabricação de novos (MUDGE; WALD, 2007; HUANG et al., 2013a; MAHAMOOD et al., 2014a). Na Figura 7 observa-se processo de impressão da tecnologia LENS.

Figura 7 - Esquema de Impressão - LENS



Fonte: Traduzido de Research Group (2012).

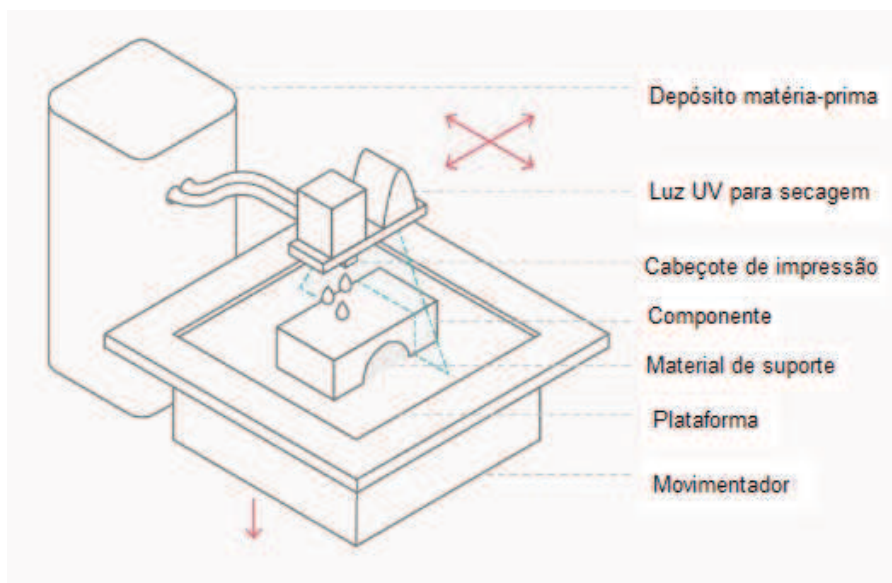
As vantagens desta tecnologia são a composição de material pode ser alterada dinamicamente, possibilidade de fabricação de componentes densos com boa estrutura quanto a granulometria, propriedades mecânicas e térmicas, complexidade das peças, tempo de fabricação, custo, tamanho e comprimento das peças (MUDGE; WALD, 2007; HUANG et al., 2013a; MAHAMOOD et al., 2014a; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014; SRIVATSAN; SUDARSHAN, 2015; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016). As desvantagens são acabamento, necessidade de pós processamento (subtração e/ou polimento), precisão e os componentes precisam ser cortados do substrato (HUANG et al., 2013b; MAHAMOOD et al., 2014a; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016).

O material utilizado é pó de metal, os principais são: aço inoxidável, aços ferramenta, ligas de níquel, cobalto, titânio e uma variedade de ligas duras ou revestidas, em geral, materiais com baixas propriedades reflexivas (MUDGE; WALD, 2007). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia MJ.

2.2.6 *Material Jetting* (MJ)

Processo aditivo realizado por meio de “pulverização” seletiva e de maneira controlada, seja material fundido ou adesivo, para unir o pó em objeto sólido (BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; ENGINEERS., 2017). Pode ser comparado ao processo de impressão da impressora 2D a jato de tinta (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Utilizado na fabricação de moldes para injeção e aplicações médicas (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; VAROTSIS, 2017). Na Figura 8 observa-se processo de impressão da tecnologia MJ.

Figura 8 - Esquema de Impressão - MJ



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffner e Garret (2017).

As vantagens são alto nível de precisão, disponibilidade de materiais, possibilidade de criação de protótipos visuais precisos e qualidade de superfície, (ADDITIVELY, 2017c; ENGINEERS., 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; VAROTSIS, 2017). A tecnologia MJ possui o melhor acabamento de superfície quando comparada com as outras tecnologias, pós processamento é efetuado apenas para fins de melhoria de performance (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). As desvantagens são as propriedades mecânicas e térmicas, fragilidade das peças, velocidade de manufatura, degradação das propriedades mecânicas ao longo do tempo e alto custo da tecnologia (ADDITIVELY, 2017c; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; VAROTSIS, 2017).

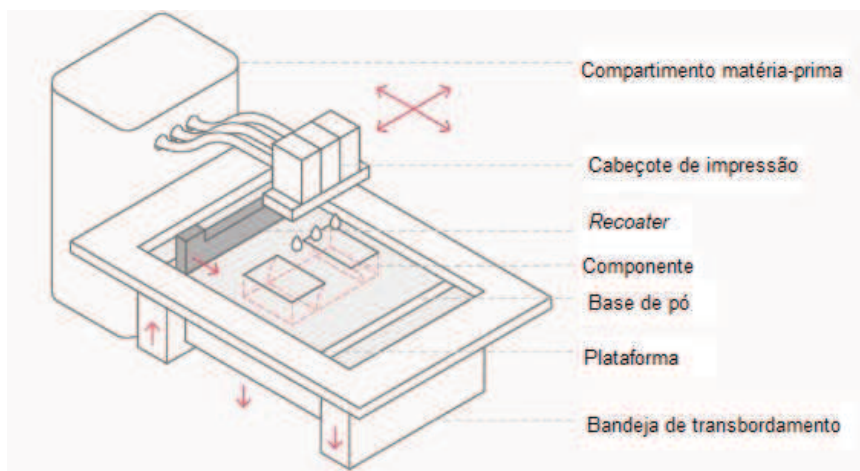
O material utilizado é uma resina de foto-polímeros termo endurecidos, porém, no processo, são necessários dois tipos de matéria-prima, uma ou mais para o componente e outro para as estruturas de apoio (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia SLM.

2.2.7 *Selective Laser Melting (SLM)*

Neste processo, é utilizado lasers para derreter pó de materiais seletivamente, que durante a solidificação, fundirão (YASA; KRUTH, 2011; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; TRAN et al., 2017). Utilizado em protótipos, ramo automobilístico e

aeroespacial, peças de fixação (dispositivos de fabricação e/ou fixação), produção de pequenas peças em série (pode ser necessário pós processamento), ferramentas para área de injeção e peças complexas com baixo volume (ADDITIVELY, 2017d; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na Figura 9 observa-se processo de impressão da tecnologia SLM.

Figura 9 - Esquema de Impressão - SLM



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffer e Garret (2017).

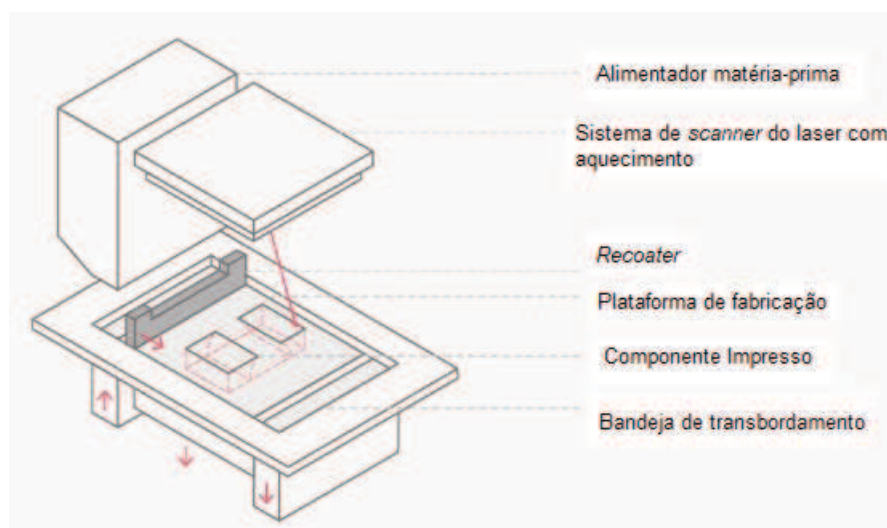
As vantagens de utilizar este processo são ampla disponibilidade de materiais, possibilidade de aprimorar as propriedades do material em questão durante a fabricação, custo, manufatura de peças complexas, propriedades mecânicas e térmicas, precisão, fabricação de peças densas (>99%) e produção de peças próximas a forma final ou prontas para uso (YASA; KRUTH, 2011; ADDITIVELY, 2017d; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). As desvantagens são velocidade de fabricação, dimensões máximas, restrições de tamanho, pós processamento, altos custos iniciais, otimização dos processos de fabricação são demorados, complicado manuseio do pó e qualidade de superfície (YASA; KRUTH, 2011; ADDITIVELY, 2017d; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

O material utilizado é pó de metal (qualquer material que possa ser soldado), os principais são: alumínio, aço inoxidável, titânio, cromo cobalto e inconel (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia SLS.

2.2.8 Selective Laser Sintering (SLS)

Técnica aditiva em que o material em pó é derretido seletivamente, ou sinterizado, quando exposto a um raio laser (BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; CHEN et al., 2016; TRAN et al., 2017). Utilizado em protótipos, moldes de injeção, setor aeronáutico, automobilístico e da saúde (MAHAMOOD et al., 2014a). Na Figura 10 observa-se processo de impressão da tecnologia SLS.

Figura 10 - Esquema da Impressão - SLS



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffner e Garret (2017).

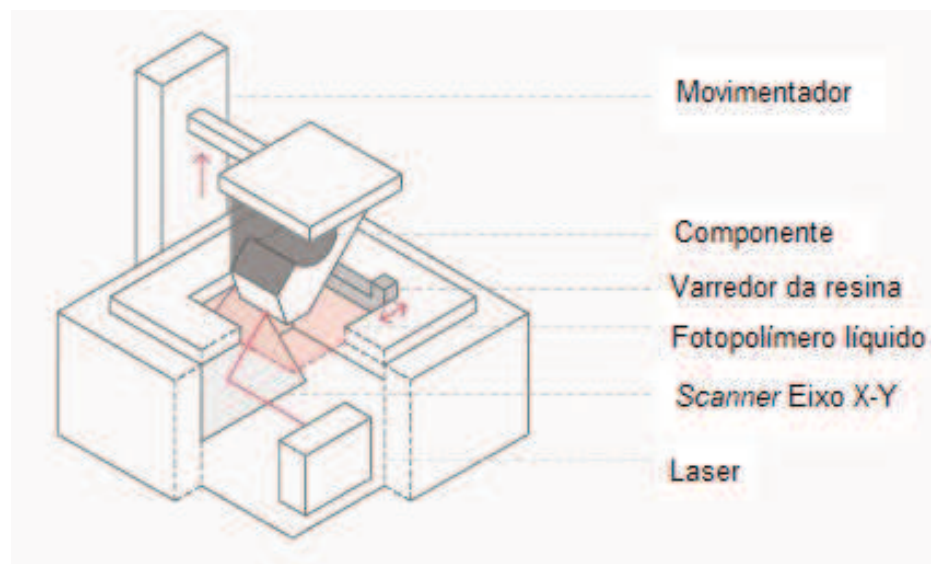
As vantagens desta técnica aditiva são a ampla variedade de materiais, dimensão de fabricação elevadas em máquinas industriais, possibilidade de produção de peças resistentes, propriedades mecânicas e térmicas, pode-se manufaturar peças sobre outras existentes, complexidades das peças e alta precisão (MAHAMOOD et al., 2014a; CHEN et al., 2016; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). As desvantagens são tempo necessário para aquecimento, fabricação e resfriamento, acabamento, alto custo de utilização, necessidade de pós processamento e emissão de gases tóxicos durante a operação (MAHAMOOD et al., 2014a; CHEN et al., 2016; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

O material utilizado é o termoplástico que pode ser misturado a alumínio, vidro, carbono e grafite para formar um pó composto (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção será apresentado as características da tecnologia SLA.

2.2.9 Stereolithography (SLA)

Este processo a base de líquido que é curado ou solidificado a partir de polímeros fotossensíveis quando expostos a laser ultravioleta (WONG; HERNANDEZ, 2012; KIM; ROOB, 2014; BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016). Utilizado em protótipos, área da saúde, fundição e joalheria (MAHAMOOD et al., 2014a; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na Figura 11 observa-se processo de impressão da tecnologia SLA.

Figura 11 - Esquema da Impressão - SLA



Fonte: Traduzido de Redwood, Schöffer e Garret (2017).

As vantagens do processo SLA são o acabamento final, qualidade de superfície, processo totalmente automatizado, dimensões da fabricação em máquinas industriais, alto nível de resolução/precisão, complexidade e dimensões das peças, além de ser amplamente utilizado (MAHAMOOD et al., 2014a; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). As desvantagens são problema de encolhimento e envolvimento, pós cura necessária, pós processamento, material limitado e tóxico, alto custo, propriedades mecânicas e térmicas limitadas (comprometendo a durabilidade dos componentes manufaturados), tempo de fabricação e as marcas deixadas pelos materiais de apoio (WONG; HERNANDEZ, 2012; MAHAMOOD et al., 2014a; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017).

O material utilizado é uma resina de foto-polímeros termo endurecidos (REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017). Na próxima seção será apresentado a síntese das tecnologias de AM expostas.

2.2.10 Síntese das Técnicas de Manufatura Aditiva

Com base no exposto nas subseções anteriores, foi desenvolvido o Quadro 4, onde, busca-se destacar a variedade de materiais contemplados pelas tecnologias de AM. Adicionalmente, verifica-se a diversidade de aplicação das tecnologias de AM. Contudo, percebe-se que os materiais diferem entre as tecnologias, gerando barreiras de utilização que devem ser consideradas no momento da tomada de decisão.

Quadro 4 – Matérias-Primas das Técnicas de Manufatura Aditiva conforme literatura

Tecnologias	Matéria-Prima
BJ	Pó de metal desejado (mais utilizados: aço inoxidável com matriz de bronze ou sinterizado, inconel sinterizado, carboneto de tungstênio sinterizado) com um agente de ligação de polímero ou areia/arenito/gesso/sílica
EBM	Pó de metal (qualquer material que possa ser soldado), os principais são: alumínio, aço inoxidável, titânio, cromo cobalto e inconel
FDM	Termoplásticos
LOM	Papel, plásticos e compósitos (metais ferrosos, não ferrosos e cerâmicos)
LENS	Pó de metal, os principais são: aço inoxidável, aços ferramenta, ligas de níquel, cobalto, titânio e uma variedade de ligas duras ou revestidas, em geral, materiais com baixas propriedades reflexivas
MJ	Pó de metal, os principais são: aço inoxidável, aços ferramenta, ligas de níquel, cobalto, titânio e uma variedade de ligas duras ou revestidas, em geral, materiais com baixas propriedades reflexivas
SLM	Pó de metal (qualquer material que possa ser soldado), os principais são: alumínio, aço inoxidável, titânio, cromo cobalto e inconel
SLS	Termoplástico que pode ser misturado a alumínio, vidro, carbono e grafite para formar um pó composto
SLA	Resina de foto-polímeros termo endurecidos

Fonte: O Autor (2019).

Além disso, foi desenvolvido o Quadro 5 que busca elencar as desvantagens e vantagens com relação a características utilizadas em comum pelos autores. Para a classificação “Vantagem” utilizou-se o sinal de “+” e para “Desvantagem” o sinal de “-”. Pós-processamento entende-se como etapas/tratamentos de melhoramento da qualidade da superfície, precisão, propriedades mecânicas/térmicas, entre outras.

Quadro 5 – Características das Tecnologias de Manufatura Aditiva

Descrição	MJ	EBM	LENS	SLS	SLA	BJ	SLM	FDM	LOM
Tempo de Fabricação	+	-	+	-	+	+	-	+	+
Qualidade de Superfície	+	+	-	-	+	-	-	-	-
Propriedades Mecânicas	+	+	+	+	-	-	+	-	-
Propriedades Térmicas	+	+	+	+	-	-	+	-	-
Complexidade das peças	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Dimensões de Fabricação	+	-	+	+	+	+	-	+	-
Precisão	+	+	-	+	+	+	+	-	-
Pós Processamento	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Custo de Operação	-	-	+	-	-	+	+	+	+
Referências Bibliográficas Vantagens (+)	(ADDITIVELY, 2017c; ENGINEERS., 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; VAROTSIS, 2017).	(GMBH, 2013; HIEMENZ, 2007; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; HUANG et al., 2013a; MAHAMOOD et al., 2014; MUDGE; WALD, 2007; SRIVATSAN; SUDARSHAN, 2015; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014)	(CHEN et al., 2016; MAHAMOOD et al., 2014; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(MAHAMOOD et al., 2014; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(ADDITIVELY, 2017a; EXONE, 2017; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; MALLADI, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(ADDITIVELY, 2017d; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; YASA; KRUTH, 2011)	(BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; ENGINEERS., 2017; MAHAMOOD et al., 2014; PELESHENKO et al., 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(MAHAMOOD et al., 2014; PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012)
Referências Bibliográficas Desvantagens (-)	(ADDITIVELY, 2017c; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; VAROTSIS, 2017)	(ADDITIVELY, 2017b; HIEMENZ, 2007; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; HUANG et al., 2013b; MAHAMOOD et al., 2014)	(CHEN et al., 2016; MAHAMOOD et al., 2014; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(MAHAMOOD et al., 2014; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; WONG; HERNANDEZ, 2012)	(ADDITIVELY, 2017a; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; MALLADI, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017)	(ADDITIVELY, 2017d; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; REDWOOD; SCHÖFFER; GARRET, 2017; YASA; KRUTH, 2011)	(BIKAS; STAVROPOULOS; CHRYSSOLOURIS, 2016; ENGINEERS., 2017; MAHAMOOD et al., 2014)	(GROSS et al., 2014; MAHAMOOD et al., 2014; PALERMO, 2013; PARK; TARI; HAHN, 2000; PILIPOVIC et al., 2011; WONG; HERNANDEZ, 2012)

Fonte: O Autor (2019).

As informações disponíveis no Quadro 3 partiram da análise realizada pelos autores vistos nesta seção e suas respectivas tecnologias. Onde, estes utilizaram os mesmos critérios comparativos, as informações partiram de uma análise prévia deste autores. Destaca-se um total de 45 aspectos positivos e 36 aspectos negativos. Na próxima seção, serão apresentados os critérios competitivos e sua relação com a Manufatura Aditiva.

2.3 MANUFATURA ADITIVA E OS CRITÉRIOS COMPETITIVOS

Critério competitivo pode ser conceituado como o que um fabricante deseja enfatizar em termos de melhorias futuras para alcançar ou manter sua vantagem competitiva, visto que são os fatores avaliados pelos clientes no momento da decisão da compra (THÜRER et al., 2014).

Os critérios competitivos encontrados na literatura são custo, qualidade, confiabilidade, velocidade, confiabilidade de entrega, inovação, responsabilidade socioambiental e flexibilidade (WHEELWRIGHT, 1984; SLACK, 2002; DIAS; FENSTERSEIFER, 2005; BOTT, 2014; TEIXEIRA et al., 2014; THÜRER et al., 2014; LIRA; GOMES; CAVALCANTI, 2015).

Os critérios estão relacionados à definição da estratégia da organização, ou seja, a estratégia em operações definirá em quais desses ou outros critérios pretende rivalizar (SKINNER, 1969; LEE, 2012). Em síntese, podem ser definidos como um conjunto consistente de critérios que a empresa tem de valorizar para competir no mercado (MILTENBURG, 2008).

Referente ao critério custo, a adoção da Manufatura Aditiva ainda é impactada negativamente por este fator. Entretanto, de 2001 à 2011, o preço médio dos equipamentos reduziu 51% (THOMAS; GILBERT, 2014). Contudo, em muitos aspectos, os custos da utilização de processos aditivos ainda são maiores quando comparados a manufatura tradicional (LINDEMANN et al., 2013; THOMAS; GILBERT, 2014). Apesar disto, a utilização da AM vem aumentando e uma das razões é que as organizações estão obtendo retorno sobre o investimento (SCULPTEO, 2017).

Entre os aspectos positivos quanto ao critério competitivo custo, pode-se citar o inventário, onde as tecnologias AM impactam positivamente, visto que, possuem lead time de fabricação menor e os componentes podem ser manufaturados sob

demanda (THOMAS; GILBERT, 2014). A Manufatura Aditiva, além de permitir a produção em múltiplos locais, possibilita também a execução de diversos componentes em uma mesma máquina, reduzindo a necessidade de movimentações internas entre diferentes máquinas, além de diminuir o estoque de processo, ou seja, reduz os custos relativos a transporte (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2013; THOMAS; GILBERT, 2014). Outro aspecto de destaque são as ferramentas necessárias para a fabricação, ao contrário do processo tradicional, a Manufatura Aditiva não utiliza ferramental de alto custo (SHULMAN; SPRADLING; HOAG, 2012). Conforme pesquisa realizada no EUA, constatou-se que a utilização de tecnologias de AM reduzirá acima de 50% o consumo de energia elétrica (FORD, 2014). Nos próximos 7 anos espera-se uma grande redução de custos da tecnologia dado o desenvolvimento da mesma (LINDEMANN et al., 2013).

Quanto ao critério competitivo flexibilidade, diversos autores, destacam esta característica da Manufatura Aditiva como uma das vantagens em relação ao processo de fabricação tradicional (MAHAMOOD et al., 2014a; ZHAI; LADOS; LAGOY, 2014; RÜSSMANN et al., 2015; TRAN et al., 2017). A utilização da AM permite aos sistemas produtivos a customização em massa, peças de reposição, ferramentas, entre outras características que possibilitam uma rápida resposta ao mercado (reação a mudanças inesperadas) (MOHR; KHAN, 2015; RÜSSMANN et al., 2015; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; SCULPTEO, 2017). Os impactos das possibilidades das tecnologias de AM fará com que grandes complexos de fábricas e cadeias de suprimentos tornem-se menores (BEN-NER; SIEMSEN, 2017).

Quanto ao critério competitivo velocidade, a implementação das tecnologias de AM mudará o futuro das organizações, como por exemplo, aspectos da produção, cadeia de suprimentos, manutenção, desenvolvimento de produto e a economia global (BEN-NER; SIEMSEN, 2017; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016). Em parte, causado pela capacidade das tecnologias de AM produzirem peças sob demanda e rentável (BERMAN, 2012; FORD, 2014). Para ter desempenho de entrega, é necessário que haja rapidez e confiabilidade na entrega (WHEELWRIGHT, 1984; LI, 2000). Alguns dos benefícios da adoção de tecnologias de AM são agilidade do processo, redução do inventário e redução dos custos de transporte (FORD; DESPEISSE, 2016; RYLANDS et al., 2016; THOMAS, 2016). Estas melhorias incrementam o desempenho de entrega das organizações.

Em seu trabalho, Kietzmann, Pitt e Berthon (2015) destacam o potencial da AM em reduzir o tempo de entrega dos produtos fabricados. Além disso, apresentam também a proposta de que consumidores poderão fabricar seus próprios produtos em casa, sem a necessidade de intermediários. Estes fatos indicam que a velocidade é um dos critérios competitivos que pode beneficiar as empresas que adotarem a tecnologia (VEIT, 2018).

Por fim, referente ao critério competitivo qualidade, pode ser conceituado como a capacidade de um componente executar com sucesso seu objetivo, além de ser considerado importante para atingir uma vantagem competitiva (KUEI; MADU, 2003; WING; GORHAM; SNIDERMAN, 2015). As manufaturas e usuários finais possuem dificuldades para garantir que a qualidade, resistência e confiabilidade sejam asseguradas quando os componentes são produzidos via Manufatura Aditiva (WING; GORHAM; SNIDERMAN, 2015). As tecnologias AM possuem dificuldades para competir com as técnicas tradicionais quanto a confiabilidade e reprodutibilidade (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2013). Mahamood et al. (2014) afirmam que os pontos ainda não resolvidos pelas tecnologias de AM são a precisão, acabamento de superfície, produtividade, repetitividade e confiabilidade. Como alternativa, para garantir um nível de reprodutibilidade, sugere-se um conjunto de padrões/especificações e um processamento híbrido, onde a tecnologia AM é utilizada em conjunto com técnicas convencionais (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2013).

Na Manufatura Aditiva, é possível classificar em três grupos para se atingir a qualidade desejada, são eles: planejamento de construção, monitoramento da manufatura e *feedback* em tempo real do processo (WING; GORHAM; SNIDERMAN, 2015). Por fim, sem garantir a confiabilidade e qualidade de seus processos, as organizações não irão realizar investimentos, custosos, em tecnologias aditivas (WING; GORHAM; SNIDERMAN, 2015). A Manufatura Aditiva permite a produção sob demanda, onde, além de diminuir os tempos de produção e os custos, é capaz de entregar componentes com a mesma ou melhor qualidade do que a obtida com os processos de manufatura tradicionais (BOURHIS et al., 2013; GARDINER, 2015; VEIT, 2018).

Entretanto, grande parte da sociedade parece desconhecer as implicações das tecnologias de AM que universidades e organizações estão pesquisando/desenvolvendo (BEN-NER; SIEMSEN, 2017). Por fim, o Quadro 6 exhibe

as repercussões da Manufatura Aditiva nos critérios competitivos conforme revisão da literatura e análise de conteúdo executada por Veit (2018).

Quadro 6 – Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos

Repercussões da Manufatura Aditiva nos Critérios Competitivos		Categorias de Análise Critérios Competitivos						
		Custo	Desempenho de Entrega	Velocidade	Flexibilidade	Qualidade	Sustentabilidade	Inovação
Repercussões Positivas	Custos reduzidos para produtos customizados	X						X
	Eliminação da necessidade de ferramental	X		X				
	Fabricação a partir do desenho	X						X
	Redução do desperdício de materiais	X					X	
	Redução do consumo de energia	X					X	
	Redução da necessidade de transporte	X	X	X			X	
	Cadeias de Suprimento mais ágeis		X	X				
	Redução da complexidade de gestão da Cadeia de Suprimentos		X					
	Redução dos prazos de entrega		X	X				
	Redução do tempo de atravessamento para baixos volumes de alta variedade		X					
	Redução do tempo de resposta para o mercado		X	X				
	Eliminação do <i>Setup</i>			X	X			
	Permite utilização de diversos tipos de materiais				X			
	Garante propriedades físicas e mecânicas					X		
	Atenua o impacto ambiental						X	
	Processo de produção mais limpo						X	
	Redução da emissão da "pegada" de carbono						X	
	Repercussões Negativas	Inovação como processo de fabricação						
Facilita o compartilhamento e terceirização de projetos								X
Repercussões Negativas	Custo elevado dos equipamentos	X						
	Redução do rendimento do processo	X		X				
	Custo elevado para produção em série	X		X				
	Aumento do custo de propriedade intelectual e segurança da informação	X						
	Aumenta o custo de qualificação da mão de obra	X						
	Não apresenta precisão e robustez					X		
	Não garante propriedades físicas e mecânicas					X		
Problemas de acabamento (aspecto visível do componente)					X			

Fonte: (VEIT, 2018).

Na próxima seção será apresentado a seleção de tecnologias para a manufatura aditiva.

2.4 SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA MANUFATURA ADITIVA

As organizações estão inseridas em ambientes de constante mudança e crescente concorrência, logo, a tecnologia está se tornando uma referência fundamental para garantir a capacidade de competitividade das empresas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995; CHUANG; YANG; LIN, 2009). Contudo, projetos de alta e nova tecnologia são caracterizados como de alto risco e retorno, paralelamente, os objetivos conflitantes dificultam o processo de avaliação e seleção (KUEI et al., 1994; CHUANG; YANG; LIN, 2009; WANG; CHIN, 2009; MOHAGHEGHI et al., 2017).

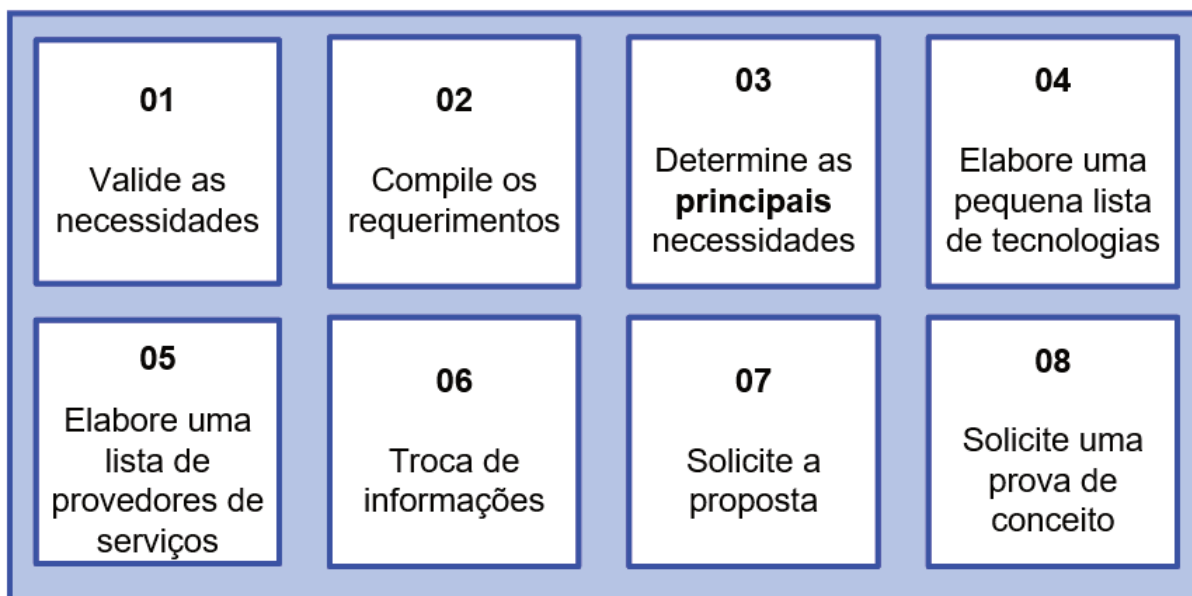
Gerenciar decisões de desenvolvimento com base em tecnologias é uma tarefa complexa (BHASKARAN; RAMACHANDRAN, 2011). Seleção de novas tecnologias é uma das atividades mais importantes de muitas empresas (MOHAGHEGHI et al., 2017). Organizações, de todos os portes, defrontam-se com um cenário cada vez mais complexo quanto a escolha de tecnologias (MCKNIGHT, 2016). A parte mais importante da escolha é a construção de um consenso, onde, as partes interessadas concordem e apoiem a decisão final (BOCKLUND; HINTON; MOREY, 2011). Considera-se que o desenvolvimento de uma tecnologia bem executada é um produto para atender às necessidades dos clientes (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995).

Ferramentas de seleção de tecnologias buscam reduzir os *tradeoffs* existentes no processo, além de simplificar a identificação dos pontos chave para os sistemas complexos (CHAN et al., 2006). A seleção inadequada em relação aos objetivos estratégicos das organizações, poderá implicar em custos futuros de reinvestimento para a empresa (BUSTAMENTE; DUARTE; ALMEIDA, 2010).

Durante o processo de seleção de uma tecnologia, as organizações devem explorar estratégias competitivas e operacionais ao longo do tempo (CHUANG; YANG; LIN, 2009). Entretanto, ao longo do processo decisório, dada a complexidade das situações/problemas existentes, as empresas optam por efetuar uma análise monetária em detrimento dos benefícios estratégicos associados com a tecnologia em questão (BORENSTEIN; BETENCOURT, 2005). Onde, o desenvolvimento da tecnologia ocorre de maneira independente quanto as necessidades das partes interessadas, a taxa de implantação/aceitação da tecnologia é baixa (NATIONAL

RESEARCH COUNCIL, 1995). Digital Clarity Group (2016) apresenta 8 passos para selecionar uma tecnologia conforme Figura 12.

Figura 12 – 8 Passos para Seleção de Tecnologias Aditivas



Fonte: Traduzido de Digital Clarity Group (2016).

As duas primeiras etapas englobam a enumeração das questões/características de maior importância para a situação existente, onde, deve-se analisar os impactos na organização (sistema produtivo), processos englobados, entre outras (DIGITAL CLARITY GROUP, 2016). Dentre as questões que podem ser consideradas, lista-se: a tecnologia é necessária?; a tecnologia é adequada?; como a tecnologia se compara a outra?; entre outras questões (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995).

Com base nas duas primeiras etapas, inicia-se a terceira, onde as principais necessidades são elencadas para que sejam priorizadas no momento da escolha dos possíveis fornecedores. Com as diretrizes definidas, deve-se buscar fornecedores e prestadores de serviço que trabalhem com as tecnologias listadas (DIGITAL CLARITY GROUP, 2016) (etapa 4 e 5). Juntamente com os fornecedores e prestadores de serviços de cada uma das tecnologias, deve-se discutir detalhes e características das tecnologias, além de, solicitar experiências práticas (DIGITAL CLARITY GROUP, 2016). Definida a tecnologia, inicia-se as tratativas para consolidar a compra, porém, deve-se exigir uma prova do conceito (ver a tecnologia na prática) (DIGITAL CLARITY GROUP, 2016). “Como novas tecnologias estão sendo constantemente

desenvolvidas, a estrutura de tomada de decisão deve reconhecer que a seleção de tecnologia (...) é um processo dinâmico que deve ser periodicamente revisitado” (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1995).

Com relação as pesquisas existentes, o trabalho de Rao e Padmanabhan (2007) apresenta uma metodologia para seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva utilizando uma abordagem matricial e teoria dos gráficos. Onde, o método proposto pode considerar qualquer número de atributos quantitativos e qualitativos simultaneamente, oferecendo uma abordagem simples e objetiva (RAO; PADMANABHAN, 2007). Para isto, um índice de seleção tecnologias é proposto para avaliar e classificar os processos para manufaturar um determinado produto ou peças.

Devido ao crescimento da Manufatura Aditiva, Mellor, Hao e Zhang (2014), desenvolveram um framework para auxiliar na adoção de tecnologias de Manufatura Aditiva e, assim, contribuir para suprir a falta de estudos quanto à implantação. A crescente adoção das tecnologias AM fez com que o número de pesquisas na área de tecnologias e matérias-primas aumentasse, contudo, a implantação não tem recebido destaque (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014). Destaca-se também, a necessidade das empresas possuírem gerentes de projetos focados em tecnologias de AM para orientar e conduzir os esforços na área de Manufatura Aditiva e sua implantação na empresa e assim, gerar novas oportunidades de negócios (MELLOR; HAO; ZHANG, 2014).

Mançanares et al. (2015) desenvolveram um método para selecionar uma tecnologia aditiva mais adequada considerando a produção de uma peça específica. Para isso, desenvolveram um processo de seleção por meio das especificações técnicas da peça considerada. Para execução, utilizaram a técnica AHP para classificar as tecnologias e máquinas apropriadas. Adicionalmente, destacaram que devido a existência de diversas tecnologias, o processo de definição é complexo, além de ser limitado a poucos profissionais (MANÇANARES et al., 2015).

Khaleeq Uz Zaman et al. (2016), dentro do universo da Manufatura Aditiva (diversos materiais, tecnologias, técnicas DFM/DFAM), tiveram um enfoque em duas questões: i) Quais são os critérios comuns de projeto usados na literatura para tecnologias de Manufatura Aditiva e tradicional no que diz respeito à integração de processo de produto? ii) Qual é a contribuição da literatura para as estratégias de seleção de materiais e processos de manufatura com foco especial na comparação de tecnologias de Manufatura Aditiva e tradicional? Ou seja, esta pesquisa destaca-

se por propor uma metodologia de seleção de tecnologias integrada com o desenvolvimento do produto e processo.

Park e Tran (2017) apresentam um sistema de suporte à decisão para selecionar um método de impressão 3D apropriado para imprimir produtos finais, utilizando Java e SQL. A partir dos requisitos do produto, os métodos de impressão foram analisados e avaliados para decidir qual deles atende aos requisitos do produto da melhor maneira (PARK; TRAN, 2017).

Por fim, Gokuldoss, Kolla e Eckert (2017) abordam de maneira conceitual/teórica as diretrizes de seleção para seguintes tecnologias de Manufatura Aditiva: *Selective Laser Melting*, *Electron Beam Melting* e *Binder Jetting*. Os atributos considerados pelos autores são: tipo de material, especificações/limitações da tecnologia, características (propriedades) das peças, aplicação das peças, requerimentos de pós processamento, qualidade de acabamento e precisão (GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017).

2.5 ANÁLISE CONJUNTA

Análise conjunta é uma técnica multivariada utilizada para entender como os respondentes desenvolvem preferências por tipos de objetos, sejam eles produtos, serviços ou ideias (HAIR et al., 2006). Esta determina a importância relativa que os consumidores atribuem a critérios relevantes e suas utilidades (MALHOTRA, 2012). A escala utilidade é utilizada para mensurar o valor baseado nas escolhas subjetivas e únicas de cada entrevistado (MALHOTRA, 2012). Definida a utilidade é possível computar a importância relativa de cada fator (HAIR et al., 2006). Sendo utilizada para avaliar os julgamentos dos consumidores sobre atributos de produtos e serviços (GREEN; WIND, 1975).

A análise conjunta vem sendo aplicada em diversas situações e áreas do conhecimento, tais como: identificação/análise das preferências dos consumidores (MEYERDING; MERZ, 2018), diminuição do conflito decisório dos pacientes sobre as preferências de tratamento cirúrgico (HAMPSON et al., 2017), determinação dos impactos das decisões relativas a marketing na decisão dos consumidores (PIKO; TOROS, 2017), avaliação das preferências corporativas por alternativas de políticas do mecanismo de crédito setorial (GAO; SMITS; WANG, 2016), análise da motivação e preferências da geração “Y” relativo a escolha de oferta turística (VUKIC;

KUZMANOVIC; KOSTIC STANKOVIC, 2015), percepção sobre a seleção de atributos/critérios para um restaurante fast food (FARAHYAN; KAPTAN; JADHAVAR, 2015), sistema de pontuação para suportar a elaboração de políticas de saúde baseada em evidências relevantes (MAKKAR et al., 2015), predição da capacidade das transportadoras suportarem queda significativa da renda e lucratividade (ATWATER et al., 2014), análise de atributos para desenvolvimento de novos produtos (BAGLYAS, 2013), segmentar e determinar a preferência dos consumidores em cada um dos clusters identificados (BANERJEE; AGARWAL, 2013), visualizar as perspectivas das partes interessadas sobre as prioridades para o controle abrangente do câncer de fígado (JOY et al., 2013), suportar tomadas de decisão para implantação de inovações na área da saúde (FARLEY et al., 2013), analisar a sustentabilidade da produção de bioenergia (ACOSTA et al., 2013), análise de estratégias para controle do câncer de fígado (BRIDGES et al., 2012), identificação das competências para um cargo de gerente de negócios (POPOVIC; KUZMANOVIC; MARTIC, 2012), pesquisa de marketing (SIMONA; FLORIAN, 2012), análise das preferências dos proprietários de terras para contratos de gestão de terras (BALANA; YATICH; MÄKELÄ, 2011), identificar atitudes e expectativas de consumidores quanto a determinado produto alimentício (CHUNG et al., 2011), análise da qualidade de vida de pacientes com determina doença (ASPINALL et al., 2005), entender as preferências e necessidades dos consumidores no segmento de computadores (LONIAL; MENEZES; ZAIM, 2000), na identificação de segmentos, marketing e planejamento na área da saúde (MALHOTRA; JAIN, 1982; CARROLL; GAGON, 1983), entre outros.

Hair et al. (2006) divide a análise conjunta em 7 estágios. O Quadro 7 exhibe os 7 passos para a realização da análise conjunta.

Quadro 7 - Estágios da Análise Conjunta

Estágio 1	Problema de Pesquisa	Selecionar objetivos	Determinar a contribuição de variáveis independentes		
			Estabelecer modelo de julgamento de consumidor		
		Definir os elementos totais de utilidade total			
		Identificar os critérios-chave de decisão			
Estágio 2	Metodologia	Seleção de uma metodologia de análise	Baseada em escolha		
			Tradicional		
			Adaptativa		
		Planejamento de estímulos	Seleção e definição de fatores e níveis	Características gerais dos fatores	
				Questões de especificação de fatores	
			Especificação da forma do modelo básico	Questões de especificações de níveis	
				Regra de composição	
		Coleta de dados	Escolha do método de apresentação		Que tipo de estímulos será utilizado
			Criação de estímulos		Desenvolver matriz de troca
			Seleção da medida de preferência		Métrica ou não-métrica
Forma da administração da pesquisa			Entrevistas pessoais		
			Pesquisa pelo correio		
			Pesquisa por telefone		
Estágio 3	Suposições	Adequação da forma do modelo			
		Representatividade da amostra			
Estágio 4	Seleção de uma técnica de estimação		Método métrico para avaliações		
			Método não-métrico para ordenações		
	Avaliação da qualidade de ajuste do modelo		Avaliação agregada versus individual		
			Avaliação de confiabilidade		
			Avaliação de precisão preditiva		
Estágio 5	Interpretação dos resultados	Resultados agregados versus desagregados			
		Importância relativa dos atributos			
Estágio 6	Validação dos resultados	Validade interna			
		Validade externa			
Estágio 7 (Uso opcional)	Aplicação dos resultados conjuntos	Segmentação			
		Análise de lucratividade			
		Simulador de escolha			

Fonte: Adaptado de Hair et al. (2006)

No estágio 1, com relação a definição dos objetivos, a análise conjunta pode ter dois objetivos: i) determinar as contribuições de variáveis preditoras e seus níveis na determinação de preferências do consumidor (ex.: quanto o preço contribui para o desejo de se comprar um produto?); ii) Estabelecer um modelo válido de julgamentos do consumidor (permite prever a aceitação do consumidor a qualquer combinação de atributos) (HAIR et al., 2006). Quanto a definição dos elementos de utilidade total do objeto, refere-se a seleção dos atributos que representam o problema em questão, incluindo fatores positivos e negativos (HAIR et al., 2006). Por fim, com relação a especificação de fatores-chave, o pesquisador deve identificar as variáveis-chave, pois são estratégicas (HAIR et al., 2006).

Com relação ao estágio 2, o pesquisador deve definir quais atributos serão mostrados aos respondentes para sua avaliação, divide-se em 4 etapas: i) definição da metodologia, modelo aditivo simples com até 9 fatores recomenda-se o modelo tradicional, com mais de trinta fatores recomenda-se o modelo adaptativo e, com um grande número de fatores, níveis, estimação no nível agregado e interações diretas recomenda-se o método baseado em escolha; ii) planejamento de estímulos, delineamento dos estímulos e seleção de fatores e níveis e os níveis devem ter aplicabilidade e relevância prática; iii) especificação da forma do modelo básico, a combinação pode ser aditiva ou interativa, no método interativo, o respondente soma as utilidades parciais para obter um total, no método aditivo, o respondente soma os valores para cada atributo – método interativo permite a análise em nível agregado e o aditivo como os entrevistados atribuem valor para um produto ou serviço. Há ainda, a regra da utilidade parcial, é a fase onde define-se como os fatores se relacionam. A relação pode ser linear (estima somente a utilidade parcial), parciais separadas (estimativas separadas para cada utilidade) e no modelo quadrático, o pressuposto de linearidade não é considerado (HAIR et al., 2006). iv) coleta de dados, onde é definido o método de apresentação dos estímulos, tipo de variável resposta e método de coleta de dados. Com relação ao método de apresentação, há duas opções: perfil completo, onde são apresentados cartões para os respondentes classifica-los de acordo com suas preferências e a abordagem pareada (combinação aos pares), são avaliados somente dois atributos por vez, onde o respondente usa uma escala de avaliação para indicar o nível de preferência. Definido o perfil, deve-se criar os estímulos. Caso cada atributo possua três níveis e 15 estímulos, por exemplo, o respondente teria que avaliar 135 estímulos (3x3x15). Por fim, deve-se definir a preferência do cliente. Há duas escalas, não-métrica (alto, médio, baixo) ou métrica (avaliação de 1 a 10). E, também, definir a forma de administração da pesquisa (entrevistas, online, entre outras) (HAIR et al., 2006).

Quanto ao estágio 3, trata-se das suposições da análise conjunta, onde diferentemente das outras técnicas multivariadas, não é necessário preocupar-se com pressupostos estatísticos (normalidade, homocedasticidade, entre outros). Contudo, as suposições conceituais devem ser atenciosamente definidas, ou seja, a análise conjunta deve ser bem orientada teoricamente (HAIR et al., 2006).

A estimação do modelo conjunto e avaliação do ajuste geral refere-se ao estágio 4. Neste estágio, deve-se verificar a consistência do modelo ao prever o

conjunto de avaliações de preferências de cada respondente, onde, os estímulos também são avaliados. Nesta etapa, a amostra de validação possibilitará a avaliação dos estímulos de interesse (HAIR et al., 2006).

O estágio 5 trata da interpretação dos resultados. A análise desagregada é a mais utilizada, pois, cada respondente é modelado separadamente e os resultados são analisados. Esta etapa deve considerar a importância relativa de cada fator, onde, o fator de maior amplitude de utilidade é o mais importante (HAIR et al., 2006).

Quanto ao estágio 6, trata-se da validação dos resultados. A validade interna é uma forma de certificar a validade dos resultados encontrados e a externa, envolve a capacidade da análise conjunta prever escolhas reais (HAIR et al., 2006).

Por fim, adicionalmente, pode-se considerar o estágio 7. Que trata de análise referente a: a) segmentação, onde agrupa-se respondentes para identificar segmentos; b) análise de lucratividade, este processo visa identificar combinações de atributos que seriam mais lucrativas mesmo com uma participação menor de mercado; c) simulador de escolha, permite ao pesquisador simular qualquer número de cenários competitivos e então, estimar como os respondentes reagiriam a cada cenário (HAIR et al., 2006).

Conforme exposto, conforme a quantidade de níveis de cada atributo, o respondente terá de avaliar uma grande quantidade de estímulos (como exemplo: 135 estímulos), prejudicando a análise conjunta. Objetivando tornar o modelo mais enxuto, é possível utilizar fatoriais fracionados, estes reduzem a quantidade de combinações para um menor número; o resultado chama-se matriz ortogonal, esta apresenta as combinações suficientes para analisar os efeitos/utilidades para cada nível dos perfis/fatores (MALHOTRA, 2012; MONTGOMERY, 2012).

Após a realização da análise conjunta, com a determinação da contribuição de cada fator, é possível definir a combinação ótima de características; utilizar estimativas para prever preferências; exibir as contribuições relativas de cada critério e nível; identificar oportunidades para explorar o potencial do mercado; identificar clientes potenciais para segmentos de alto ou baixo nível (HAIR et al., 2006). A Equação 1 apresenta a forma geral de um modelo de análise conjunta.

Equação 1 – Forma Geral de um Modelo de Análise Conjunta

$$\begin{aligned}
 &(\text{Valor total para produto})_{ij} \dots n_{ij} \\
 &= \text{Utilidade parcial do nível } i \text{ para o fator } 1 \\
 &+ \text{Utilidade parcial do nível } j \text{ para o fator } 2 + \dots \\
 &+ \text{Utilidade parcial do nível } n \text{ para o fator } m
 \end{aligned}$$

Fonte: HAIR et al. (2006).

Sendo estas as razões para ser considerada uma técnica multivariada híbrida. Pois, combina métodos tradicionais oferecendo flexibilidade aliada a tradição da experimentação, como tal, oferece ao pesquisador uma ferramenta de análise específica para compreender decisões de clientes e suas preferências (HAIR et al., 2006). Em comparação com a técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a análise conjunta gera mais informações para uso e o processo de seleção das preferências aproxima-se mais da realidade (CHEE, 2004). Outra vantagem, é a possibilidade de permitir a análise com todas as variáveis em conjunto e não par-a-par como na AHP.

A análise conjunta também é recomendada para solucionar *trade offs* entre características de um mesmo produto (GREEN; DESARBO, 1978), situação existente nesta pesquisa, como por exemplo, quando se há limitações de equipamento ou infraestrutura, sendo necessário optar por uma opção dentre outras, porém com deterioramento de determinadas características.

2.6 ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

“A Técnica AHP fornece uma estrutura abrangente para lidar com o intuitivo, o racional e o irracional em todos nós ao mesmo tempo em que tomamos decisões” (SAATY, p. 140, 1983), sendo uma técnica utilizada para resolução de problemas complexos (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). A AHP compara critérios independentes e pesa alternativas em modo pareado (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Para a aplicação da AHP, sugere-se as seguintes etapas (SAATY, 1983, 1990; THANKI; GOVINDAN; THAKKAR, 2016; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018):

1. Construção da hierarquia da decisão;
2. Comparação entre os elementos da hierarquia;
3. Análise da prioridade relativa de cada critério;

4. Avaliação das consequências das prioridades relativas;
5. Construção da matriz paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas;
6. Obtenção da prioridade composta para as alternativas;
7. Escolha da alternativa.

As comparações são feitas utilizando uma escala de julgamentos absolutos que representa o quanto um elemento domina mais o outro em relação a um determinado atributo (SAATY, 2008). Para fazer comparações, é necessária uma escala de números que indique quantas vezes mais importante ou dominante é um elemento em relação a outro elemento, em relação ao critério ou característica que estão sendo comparados (SAATY, 2008). A Figura 13 exibe a matriz geral de prioridade da AHP.

Figura 13 - Matriz geral de prioridade da AHP

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde}$$

$$a_{ij} > 0 \Leftrightarrow \textit{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ij} = 1$$

$$a_{ij} = 1/a_{ij} \Leftrightarrow \textit{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Leftrightarrow \textit{consistência}$$

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Para o estabelecimento das prioridades entre os elementos, utilizou-se a Escala de Saaty (1980), por ser validada e, também, por ser a escala normalmente utilizada para comparação entre critérios (SAATY, 2008; MANÇANARES et al., 2015). Mançanares et al. (2015) também adaptaram a escala de Saaty (2008) para o desenvolvimento do modelo de seleção de tecnologias para componentes específicos. A Escala de Saaty (1990, 2008) é utilizada, seja na forma padrão ou adaptada conforme necessidade em diversos trabalhos, tais como: (DONG et al., 2008; KALBAR; KARMAKAR; ASOLEKAR, 2013; MANÇANARES et al., 2015; JAIN et al., 2016; ZHOU et al., 2018). O Quadro 8 exibe a escala de Saaty (1990) utilizada nesta pesquisa.

Quadro 8 – Escala de Saaty (1990)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente para os objetivos.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1990, p. 15).

Com a execução da comparação entre os elementos, obtém-se o vetor prioridade. O objetivo do vetor prioridade é identificar a ordem de importância de cada critério (SAATY, 1983, 2008; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). O critério com maior vetor prioridade exerce um maior impacto no objetivo central da análise (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Para obter o vetor prioridade é necessário: i) normalizar os valores da matriz de comparações e ii) cálculo da média dos valores normalizados por critério.

Por fim, para cada uma das prioridades, é necessário executar a avaliação da consistência das prioridades relativas. A razão da consistência deve ser 10% ou

menos para ser aceitável, caso não seja, a qualidade das análises deve ser melhorada (SAATY, 1983). Para execução do cálculo de consistência, são necessárias 4 etapas. A primeira refere-se ao cálculo da razão dos resultados obtidos no vetor prioridade, utiliza-se a Equação 2.

Equação 2 – Razão dos Resultados Obtidos

$$AW = \lambda_{\max}W$$

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Onde:

A = comparação efetuada na matriz de prioridade;

W = vetor de prioridade.

Posteriormente, calcula-se a razão entre a soma dos valores calculados neste novo vetor e o número de critérios (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Com isso, obtém-se a aproximação do autovalor máximo, para isso, utiliza-se a Equação 3 (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018).

Equação 3 – Autovalor Máximo

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]}{wi}$$

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Onde:

λ_{\max} = autovalor máximo;

Aw = matriz resultante do produto de comparação pareada pela (w_i) matriz de pesos a serem processados;

Posteriormente, calcula-se o índice de consistência utilizando a Equação 4.

Equação 4 – Índice de Consistência

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1)}$$

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Onde:

IC = índice de consistência;

λ_{\max} = autovalor máximo;

n = número de critérios.

Definido o índice de consistência, verifica-se o índice randômico padrão utilizando o Quadro 9 proposto por Saaty (1990). Onde “N” considera o número de critérios analisados e o IR indica o índice randômico Posteriormente, calcula-se o índice de consistência utilizando a Equação 5.

Quadro 9 – índice Randômico

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1990).

Equação 5 – Razão de Consistência

$$RC = \frac{IC}{\square\square}$$

Fonte: Piran, Lacerda e Camargo (2018).

Onde:

RC = razão de consistência;

IC = índice de consistência;

IR = índice randômico.

No próximo capítulo, apresenta-se os procedimentos metodológicos adotados por esta pesquisa.

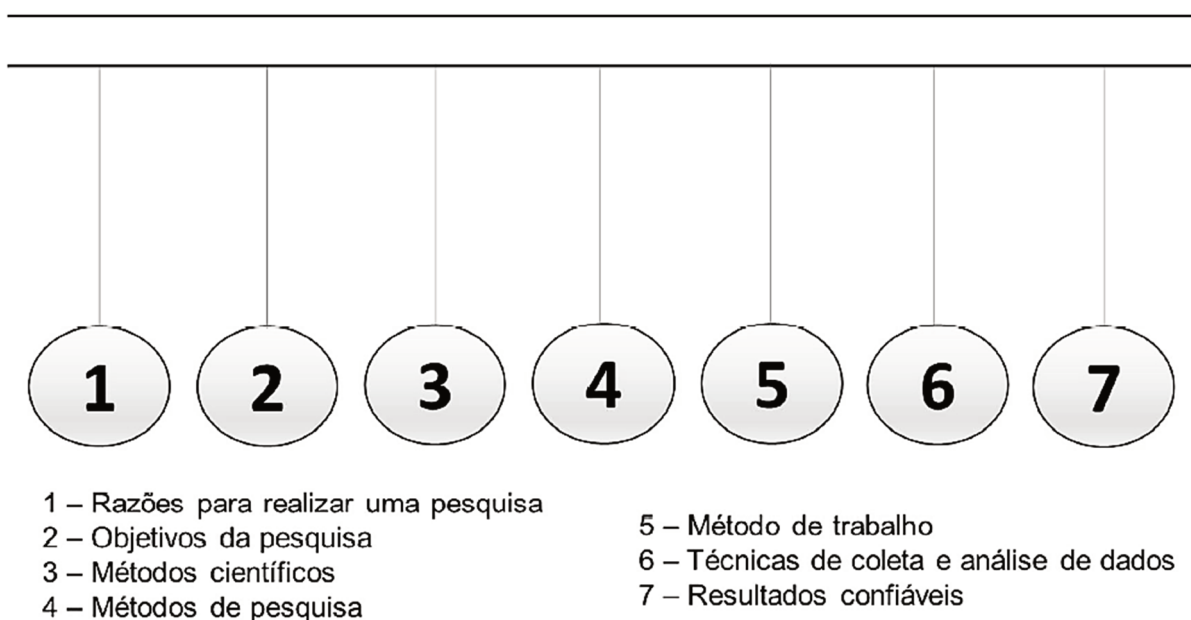
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

É necessário que uma pesquisa demonstre que foi desenvolvida com rigor metodológico para ser reconhecida como sólida e relevante, seja para a sociedade ou meio acadêmico (LACERDA et al., 2013). Neste capítulo serão apresentadas as etapas da realização desta pesquisa, sendo descritos os procedimentos e métodos utilizados.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento de uma pesquisa científica relaciona-se ao planejamento do estudo em uma visão ampla, amparando o pesquisador para planejamento do trabalho, coleta de dados e interpretação das informações obtidas (YIN, 2013). A Figura 14 apresenta as estratégias para condução de pesquisas científicas proposto por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

Figura 14 – Estratégia para Condução de Pesquisas Científicas



Fonte: Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015).

As razões para a realização desta pesquisa estão descritas no Capítulo 1. Durante o capítulo, foi apresentado o crescimento da Manufatura Aditiva, seus impactos nos processos produtivos e na economia. Posteriormente, destacou-se a

existência de diversas tecnologias no mercado, contudo, foi evidenciada a falta de ferramentas de suporte a decisão quanto à seleção, a quantidade elevada de tecnologias de AM e suas características heterogêneas, o *gap* existente na literatura e a dificuldade na tomada de decisão. Por fim, foi apresentado o objetivo desta pesquisa, um modelo de seleção de tecnologia de AM e a revisão da literatura nas áreas de sistemas produtivos, Manufatura Aditiva, critérios competitivos e seleção de tecnologias.

A investigação está fundamentada em três aspectos, são eles: compreender um fenômeno em profundidade, buscar a resposta para uma questão e na intenção de compartilhar uma nova e interessante informação (BOOTH et al., 2016). Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015) afirmam que, definido o ponto de partida, deve-se estabelecer os objetivos da pesquisa (explorar, descrever, explicar prescrever ou prever) da pesquisa em questão. Nesta pesquisa o objetivo geral é propor um modelo de apoio à tomada de decisão baseado nas características das tecnologias aditivas e nos critérios competitivos para seleção de tecnologias de AM em sistemas produtivos.

Quanto à natureza deste trabalho, o mesmo trata-se de uma pesquisa aplicada, pois, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), o intuito deste tipo de pesquisa é que os resultados amparem os colaboradores das empresas a encontrar soluções para os problemas do cotidiano. A pesquisa aplicada é uma investigação que busca gerar novos conhecimentos para ser utilizado durante a solução de problema real (GULBRANDSEN; KYVIK, 2010). Neste caso, o problema abordado na pesquisa e enfrentado pelas organizações é a correta seleção de tecnologias de AM. Devido à essa razão, elaborou-se um modelo de apoio à decisão de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva para sistemas produtivos.

O Quadro 10 apresenta os tipos de artefatos. Esta pesquisa desenvolve um artefato do tipo modelo. Este pode ser definido como um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos (MARCH; SMITH, 1995). Pode ser considerado também, uma representação de como as coisas são (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). A DSR é definida como a “ciência que procura consolidar conhecimentos sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas e criar novos artefatos” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Na DSR, o maior receio está na utilidade dos modelos e não na aderência da representatividade quanto a verdade, contudo,

apesar da possibilidade de ser impreciso, o mesmo deve ter condições de capturar a estrutura geral da realidade para assegurar sua utilidade (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015).

Quadro 10 - Tipos de Artefatos

		Descrição
Tipos de Artefatos	Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções. Conceituações são extremamente importantes em ambas as ciências, natural e de design. Eles definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas. Eles podem ser extremamente valiosos para designers e pesquisadores.
	Modelos	Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de design, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. Cientistas naturais muitas vezes usam o termo 'modelo' como sinônimo de 'teoria', ou 'modelos' como as teorias ainda incipientes. Na Design Science, no entanto, a preocupação é a utilidade de modelos, não a aderência de sua representação à Verdade. Não obstante, embora tenda a ser impreciso sobre detalhes, um modelo precisa sempre capturar a estrutura da realidade para ser uma representação útil.
	Métodos	Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe. Além disso, os métodos são, muitas vezes, utilizados para traduzir um modelo ou representação em um curso para resolução de um problema. Os métodos são criações típicas das pesquisas em Design Science.
	Instanciações	Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, Instanciações na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam.

Fonte: Lacerda et al. (2013) apud March e Smith (1995, p. 257-258).

A ciência natural é o conhecimento sobre fenômenos e objetos (SIMON, 1996). Sendo assim, a ciência natural visa formalizar e aprender o conhecimento sobre como são e como funcionam as coisas, sejam elas, fenômenos sociais ou naturais (LACERDA et al., 2013). A ciência do artificial enfatiza objetos concebidos por pessoas e discutidos em termos de adaptações, funções e objetivos (SIMON, 1996). Onde trata da maneira como esses objetos devem trabalhar para que os objetivos nos quais foram concebidos sejam atingidos (LACERDA et al., 2013).

“O método científico é uma perspectiva ou premissa sobre como o conhecimento é construído” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Existem quatro métodos científicos: I) Indutivo onde se afirma a partir do que é; II) Dedutivo afirma o que deve ser; III) Hipotético-dedutivo explica o que deve ser e; IV) Abdução que sugere o que pode ser (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2008; MAHOOTIAN; EASTMAN, 2009). Esta pesquisa utiliza o método científico abdução, pois será elaborado um modelo para indicar a melhor tecnologia de AM para situação específica

em determinado sistema produtivo. Para o projeto, desenvolvimento e avaliação do artefato, esta pesquisa utiliza o método dedutivo. Para generalização para uma classe de problemas, o método indutivo.

Enquanto a ciência natural busca entender as forças e as leis que regem o resultado e o funcionamento do fenômeno organizacional, a DSR trata da validação e concepção de sistemas que ainda não existem, possibilitando a combinação, criação e alteração de *softwares*, processo, produtos, métodos ou modelos para incrementar as situações existentes (ROMME, 2003; LACERDA et al., 2013).

Sendo assim, o método de pesquisa utilizado para a condução deste trabalho foi a DSR. Esta pesquisa elaborou um artefato, neste caso o modelo, para auxiliar no problema de seleção de tecnologias de AM.

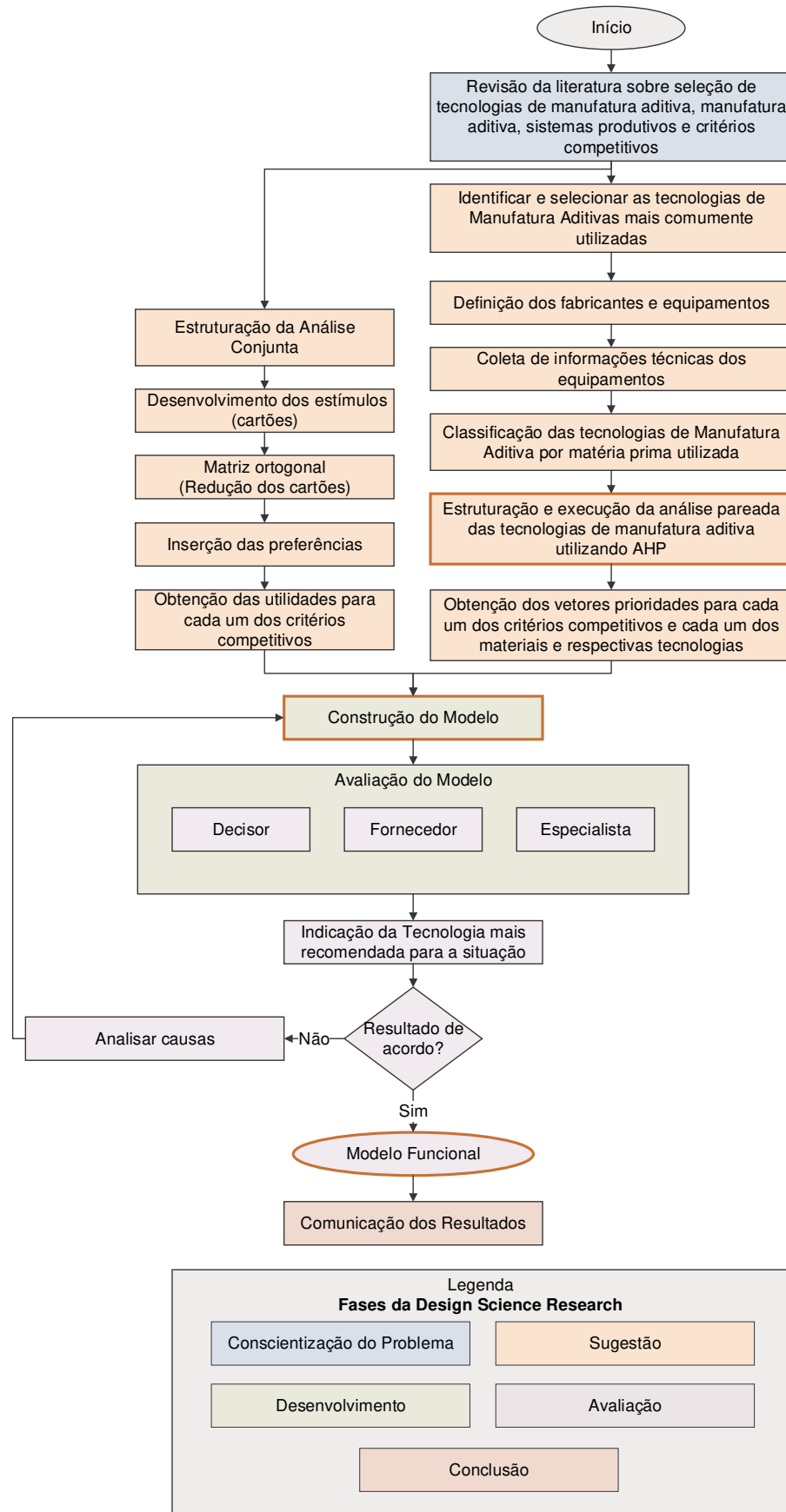
A DSR possui um rigoroso processo para projeto de artefatos cujo objetivo é resolver problemas ou avaliar projetos (ÇAĞDAŞ; STUBKJÆR, 2011). Além de não se preocupar com a ação em si mesma, mas com a utilização do conhecimento para chegar as soluções (VAN AKEN, 2004). Para isso, é necessário que as generalizações dos artefatos e prescrições sejam aplicados a uma classe de problemas (VAN AKEN, 2004). Classe de problema pode ser definida como “(...) a organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para ação nas organizações (LACERDA et al., 2013).

Por fim, com relação à coleta de dados, será apresentado nas próximas seções deste capítulo. A próxima seção apresentará o método de trabalho.

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho estabelece as etapas que o pesquisador seguirá para atingir os propósitos da pesquisa (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Ou seja, é definido a sequência de passos lógicos que o pesquisador vai seguir com o intuito de alcançar os objetivos da pesquisa em questão (MARCONI; LAKATOS, 2002, 2017). É importante que o método esteja conciso e estruturado, para assim, possibilitar que o mesmo seja replicado, adicionando certeza quanto à veracidade da teoria ou da pesquisa (MENTZER; FLINT, 1997). O método de trabalho utilizado nesta pesquisa está ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Etapas do Método (Artefato)



Fonte: O Autor (2019).

O ponto de partida se localiza na identificação e conscientização do problema de pesquisa, a saber, a seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva em sistemas produtivos. Nesta etapa, é realizado um esforço de compreensão do problema (SIMON, 1996), além de ser o estágio onde o pesquisador deve buscar o máximo de informações possíveis, assegurando a completa compreensão de suas características particulares e distintivas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Devem ser consideradas as funcionalidades do artefato, a performance esperada e os requisitos de funcionamento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Para isto, executou-se a revisão sistemática da literatura utilizando bases nacionais e internacionais, conforme protocolo de revisão localizada no Apêndice “A”. Onde, buscaram-se identificar pesquisas vinculadas à Manufatura Aditiva, suas tecnologias e seleção de tecnologias. Adicionalmente, com intuito de aumentar o rigor e o embasamento teórico da pesquisa, realizou-se a revisão da literatura referente aos conceitos de sistemas produtivos, critérios competitivos, análise conjunta e AHP.

Definida as tecnologias que farão parte do modelo, iniciou-se a identificação e levantamento das características das impressoras 3D por meio da documentação técnica dos fabricantes de equipamentos de Manufatura Aditiva. Essas informações foram relacionadas tanto com as características evidenciadas na literatura como com os critérios competitivos. Essas referências constituíram a base de dados do artefato. As informações sobre as tecnologias/impressoras 3D, podem ser verificadas no Apêndice “C”.

Posteriormente, as tecnologias de AM foram classificadas por matéria prima contemplada. Esta separação foi executada com intuito de tornar a análise pareada das tecnologias de AM mais enxuta e tornar o banco de dados do modelo organizado e de fácil manuseio. Além disso, além de ordenar por critério competitivo, a classificação por matéria prima fez com que cada análise pareada contemplasse no máximo quatro tecnologias, tornando o processo de classificação mais rápido, fácil e com menor propensão a eventuais erros de preenchimento.

Classificadas as tecnologias por matéria prima, foi executada a análise pareada das tecnologias aditivas em relação a cada critério competitivo utilizando a técnica *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Optou-se pela AHP por ser uma técnica utilizada para resolução de problemas complexos (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Sendo esta aplicada para a resolução de problemas não estruturados na área da gestão, ciências sociais e econômicas (MAHALIK; PATEL, 2010).

Para estabelecimento de prioridades entre os elementos durante a análise pareada, foi utilizada a Escala de Saaty (1990) para classificação. A Escala de Saaty (1990) foi empregada por ser uma escala validada e consolidada. Executada a comparação, obtém-se o vetor prioridade oriundo da AHP. O objetivo do vetor prioridade é identificar a ordem de importância de cada critério (SAATY, 1983, 2008; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Além disso, para avaliação desse vetor, posteriormente, deve-se calcular a consistência para avaliar a qualidade dos julgamentos e também, evidenciar necessidade de modificações (alterando questões do questionário, reordenando elementos, etc) até que o índice de consistência seja no máximo 10%, valor indicado por Saaty (1990).

Concluída a primeira etapa do método, inicia-se a estruturação da análise conjunta. Executa-se esta técnica para obtenção da utilidade que os respondentes atribuem aos critérios relevantes (MALHOTRA, 2012), nesta pesquisa, os critérios competitivos. Ou seja, após a realização da análise conjunta, pode-se definir a combinação ótima de características (HAIR et al., 2006). Para execução da análise conjunta foram desenvolvidos os estímulos (cartões).

Com as combinações específicas (estímulos), o pesquisador busca entender a estrutura de preferência do respondente (HAIR et al., 2006). Esta pesquisa utilizará o procedimento de perfil pleno, onde se constroem perfis completos para todos os atributos (MALHOTRA, 2012). E, para cada um dos atributos, esta pesquisa adotou 3 níveis, são eles “Alto”, “Médio” e “Baixo”.

Objetivando tornar o modelo mais enxuto, por meio da redução de cartões, executou-se a matriz ortogonal. Essa matriz apresenta as combinações suficientes para analisar os efeitos/utilidades para cada nível dos perfis/fatores (MALHOTRA, 2012; MONTGOMERY, 2012). Com essas etapas finalizadas, foi necessário coletar o ordenamento dos estímulos para obtenção das utilidades para cada um dos critérios competitivos. Adicionalmente, dada a natureza (preferências específicas dos entrevistados/empresa em questão) que impedem generalizações do resultado e o tamanho da amostra, a validade externa não pode ser avaliada.

Finalizadas a primeira e segunda etapa do método, realiza-se a construção do modelo por meio da integração das técnicas AHP e a análise conjunta. Conforme explanado anteriormente, a integração das técnicas foi efetuada, devido as limitações de cada uma. A integração foi realizada por meio da multiplicação do vetor prioridade pela utilidade, obtendo assim, o valor resultante. Feito isso, obtém-se a indicação da

tecnologia de AM para a situação em questão. O modelo considera as características das tecnologias aditivas e os critérios competitivos, para que assim, a tecnologia indicada esteja alinhada não somente com as necessidades produtivas, mas também, com a estratégia da organização. Após a indicação, é realizada a avaliação do resultado. Caso haja diferenças em relação ao adquirido pelo entrevistado, é realizada a análise das causas. Se for algo imputável ao modelo, o mesmo é revisto e repete-se o processo, caso seja relacionado ao decisor, evidencia-se as razões.

Concluída a fase de desenvolvimento, o artefato foi aplicado em situações reais, com o tomador de decisão, fornecedores e especialistas. Foram selecionados três tipos de públicos distintos com intuito de avaliar a indicação do modelo sob óticas dissemelhantes. Com um especialista na área, por sua imparcialidade e conhecimento para avaliação do resultado; com um fornecedor de tecnologias de AM e seu viés comercial; por fim, com o tomador de decisão final e a situação real e suas variáveis.

Com isso, o próprio entrevistado elencou uma situação vivenciada em que o mesmo participou do processo de tomada de decisão, adicionalmente, aplicou-se um questionário que pode ser visualizado no Apêndice “B”. Com base nesse caso, após a execução do artefato, verificou-se se a indicação do modelo se adequa a realidade existente no momento da tomada de decisão/compra da tecnologia. Para isso, comparou-se a indicação com a tecnologia adquirida, além das respostas do questionário e utilidades obtidas na análise conjunta serem analisadas para verificar se estão alinhadas com o resultado. Eventuais discrepâncias, são tratadas com base no questionário e utilidades obtidas para identificação da causa.

Por fim, comunicaram-se os resultados. Nessa etapa foram listadas as conclusões, os resultados da pesquisa, as contribuições, os aspectos de melhoria do modelo, as limitações e as sugestões de trabalhos futuros. Na qual o “Modelo de Apoio à Decisão para Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva em Sistemas Produtivos” foi comunicado por meio da disponibilização desta pesquisa em ambiente de acesso público. Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015) defendem a importância de que o conhecimento gerado possa ser generalizado a outras situações/problemas, permitindo assim, o avanço do conhecimento geral.

Para adicionar certeza quanto à veracidade da teoria ou do trabalho, é necessário que o mesmo seja replicado, assim, o método deve estar conciso e estruturado (MENTZER; FLINT, 1997). Nessa perspectiva, apresenta-se as etapas de coleta e análise de dados.

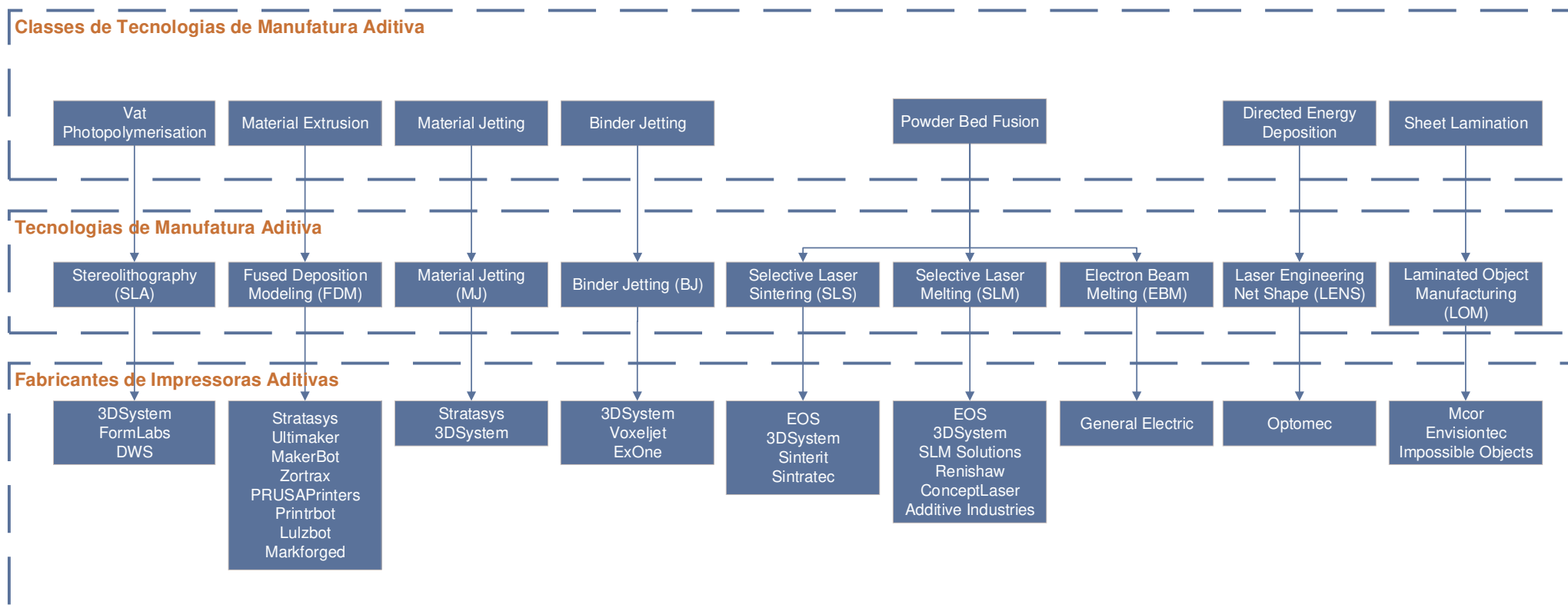
3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção, explana-se a coleta e a análise de dados. A coleta foi realizada em três etapas, a primeira apoia a conscientização do problema por meio da revisão da literatura, a segunda refere-se à obtenção de informações técnicas para o banco de dados do artefato e, por fim, a terceira refere-se à execução da análise conjunta.

A primeira coleta de dados realizada foi a revisão sistemática da literatura executada conforme Apêndice “A”. Essa revisão objetivou relacionar o objeto de pesquisa com a literatura no âmbito dos sistemas produtivos, seleção de tecnologias, critérios competitivos e a Manufatura Aditiva e suas tecnologias. A pesquisa realizada apoiou a conscientização do problema (Etapa 1 do Método de Trabalho).

Posteriormente, realizou-se a segunda coleta de dados que se refere às informações técnicas das tecnologias de AM. A partir dos catálogos técnicos das impressoras das tecnologias de AM, consideradas nesta pesquisa, foram coletadas as informações técnicas para elaboração do banco de dados da ferramenta computacional. Por ser uma documentação disponibilizada pelos respectivos fabricantes, não foi necessário efetuar a validação das informações. Para seleção dos fabricantes que compõe o banco de dados, utilizaram-se todos que estavam listadas na publicação do 3D Hubs (2016), destacados na Figura 16. Esta publicação foi utilizada como critério de seleção, pois, 3D Hubs é a maior rede mundial de serviços de manufatura, sendo uma plataforma que oferece impressão 3D, usinagem CNC e moldagem por injeção através de uma rede de mais de 7 mil parceiros. De acordo com 3D Hubs (2016), esses fabricantes são os mais populares quanto aos equipamentos de tecnologias de AM. Com relação às 9 tecnologias de AM selecionadas, essas além de terem sido as de maior destaque na revisão da literatura (Gráfico 3), são as mais comumente utilizadas na indústria (REDWOOD, 2017).

Figura 16 – Fabricantes de Impressoras Aditivas



Fonte: O Autor (2019) com base em 3D Hubs (2016).

Para a elaboração do banco de dados, as principais características técnicas dos catálogos de todos os fabricantes (listados na Figura 16) foram coletadas e posteriormente relacionadas com as características evidenciadas na literatura (Quadro 5). Onde, verificou-se que o item “Qualidade de Superfície” não estava contemplado nos catálogos dos fabricantes. A base de dados referente as informações dos fabricantes sobre as impressoras podem ser verificadas no Apêndice “C”. Para cada um dos itens identificados foram utilizados os seguintes critérios:

- Velocidade: considerada a maior velocidade encontrada dentre os fabricantes de cada uma das tecnologias de AM;
- Tamanho máximo de protótipos: atualmente, as máquinas industriais, praticamente, não possuem esta barreira. Devido a isso, nas tecnologias em que foi possível, selecionou-se um tamanho médio e similar entre as mesmas;
- Precisão: considerada a maior precisão encontrada dentre os fabricantes de cada uma das tecnologias de AM;
- Espessura de camada: considerada a menor espessura de camada encontrada dentre os fabricantes de cada uma das tecnologias de AM;
- Preço: considerado o valor médio encontrado no *site* dos fabricantes ou no *site* Aniwaa. Aniwaa é uma plataforma de informações sobre tecnologias de Manufatura Aditiva;
- Qualidade de superfície: caso seja sinalizada como uma vantagem (“+”) pela literatura, somar-se “+1” na nota atribuída para execução da análise pareada das tecnologias (Seção 4.1);
- Material (Apêndice “F”): foram consideradas todas as matérias-primas indicadas pelos fabricantes para cada uma das Tecnologias Aditivas.

Após o projeto da ferramenta computacional, realizou-se a terceira coleta de dados. Na qual a ferramenta computacional foi aplicada com o objetivo de verificar a utilidade do modelo. Essa coleta de dados foi realizada em três momentos.

A primeira etapa refere-se a um questionário composto por questões abertas. Foram utilizadas perguntas abertas, pois, são utilizadas para investigação em maior profundidade e com mais precisão (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JR, 2015). Esse questionário possui dois objetivos: i) auxiliar na análise dos resultados, onde o resultado da análise conjunta e do artefato serão relacionadas com informações oriundas das entrevistas com objetivo de embasar a recomendação e/ou solucionar

eventuais divergências; e ii) fazer com que o entrevistado relembra a situação existente no momento do processo de tomada da decisão quanto à aquisição de tecnologia aditiva. O questionário é apresentado no Apêndice “B”. Adicionalmente, as entrevistas foram analisadas comparando as respostas com as utilidades obtidas através do ordenamento dos cartões.

A segunda etapa trata da apresentação do quadro de definições dos critérios competitivos e sua relação com determinadas características dos equipamentos de tecnologia de Manufatura Aditiva contido no Quadro 11 para os entrevistados. Esse quadro foi apresentado antes do início das questões relacionadas aos critérios competitivos (antes da questão de número 11). Onde, os entrevistados efetuaram a leitura para compreensão dos conceitos e eventualmente, sanar dúvidas. Além disso, o quadro de definições garantiu a correta compreensão/definição dos conceitos utilizados nesta pesquisa, além de garantir que todos entrevistados tenham o mesmo entendimento.

Quadro 11 – Definições e relação dos critérios competitivos com determinadas características das Tecnologias Aditivas.

Critérios Competitivos	Definição	Característica da Tecnologia Aditiva	Relação
Custo	Custo para aquisição.	Valor de aquisição	Quanto menor melhor
Flexibilidade	Capacidade da empresa em adaptar seus produtos às necessidades dos clientes ou a um cliente individualmente.	Tamanho máximo de protótipos Espessura das camadas	Quanto maior melhor Quanto menor melhor
Qualidade	Oferecer produtos que são produzidos de acordo com padrões pré-estabelecidos e baixa taxa de defeitos.	Precisão Qualidade de Superfície	Quanto maior melhor Quanto maior melhor
Velocidade	Capacidade da empresa em entregar os produtos no menor tempo possível.	Velocidade	Quanto maior melhor

Fonte: O Autor (2019) com base em (WHEELWRIGHT, 1984; MAHAMOOD et al., 2014a; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; TRAN et al., 2017).

Por fim, na terceira etapa, são utilizados os cartões, denominados estímulos, que são necessários para a execução da análise conjunta. Com as combinações

específicas dos estímulos, o pesquisador busca entender a estrutura de preferência do respondente (HAIR et al., 2006). Os cartões são organizados pelos participantes em ordem de preferência, de acordo com o critério competitivo (e sua relação com determinada característica dos equipamentos de tecnologia de AM) que mais represente os atributos desejados no sistema produtivo no momento do processo de decisão/aquisição da tecnologia em questão. Os cartões utilizados nesta pesquisa podem ser visualizados no Apêndice “D”.

Com relação à amostra, não há restrições quanto à região demográfica, apenas que a empresa esteja situada no Brasil, independentemente de ser matriz ou filial. Assim, esta pesquisa trabalhou com empresas que, além de atuar no Brasil, estejam investindo em tecnologias de AM no Brasil.

Quanto às delimitações, apresentam-se três: são aceitos somente cargos relacionados aos sistemas produtivos, a empresa em questão possua equipamento de tecnologia de AM implantada e, por fim, que o entrevistado tenha participado do processo de tomada de decisão/compra da tecnologia aditiva. Esses critérios são fundamentais para permitir a correta validação ou não do modelo. As razões para essas delimitações são: quanto ao cargo, devido ao enfoque desta pesquisa ser os sistemas produtivos; relacionado a possuir o equipamento, para assim, ser possível verificar a efetividade ou não do modelo e, também, pelas experiências adquiridas no processo de tomada de decisão; por fim, ter participado do processo de tomada de decisão, intuito é ter participantes que estejam inteirados da tecnologia adquirida, além de ter passado pelo processo como um todo (dificuldades de informação, aprendizado, etc.).

Este trabalho utilizou a amostragem por conveniência, onde segundo Hair et al. (2005a) e Malhotra et al. (2012) é obtido uma amostra de elementos com base na conveniência do pesquisador, ou seja, de acordo com a disponibilidade, além de ser uma maneira de baixo custo e rápida de obter os resultados. Esse método também é utilizado na fase exploratória, onde o objetivo é desenvolver uma hipótese ou obter uma melhor visão sobre um problema em questão (HAIR et al., 2005; MALHOTRA, 2012).

Contudo, as razões para esta pesquisa ter utilizado a amostra por conveniência, não é apenas questões de disponibilidade e/ou facilidade e, sim, por questões apresentadas previamente. Tais como: a existência de poucas empresas que utilizam tecnologias de AM, o fato de a Manufatura Aditiva não estar amplamente

difundida no Brasil, a escassez de informações tanto no meio acadêmico como empresarial e a necessidade de entrevistados que tenham participado do processo de tomada de decisão.

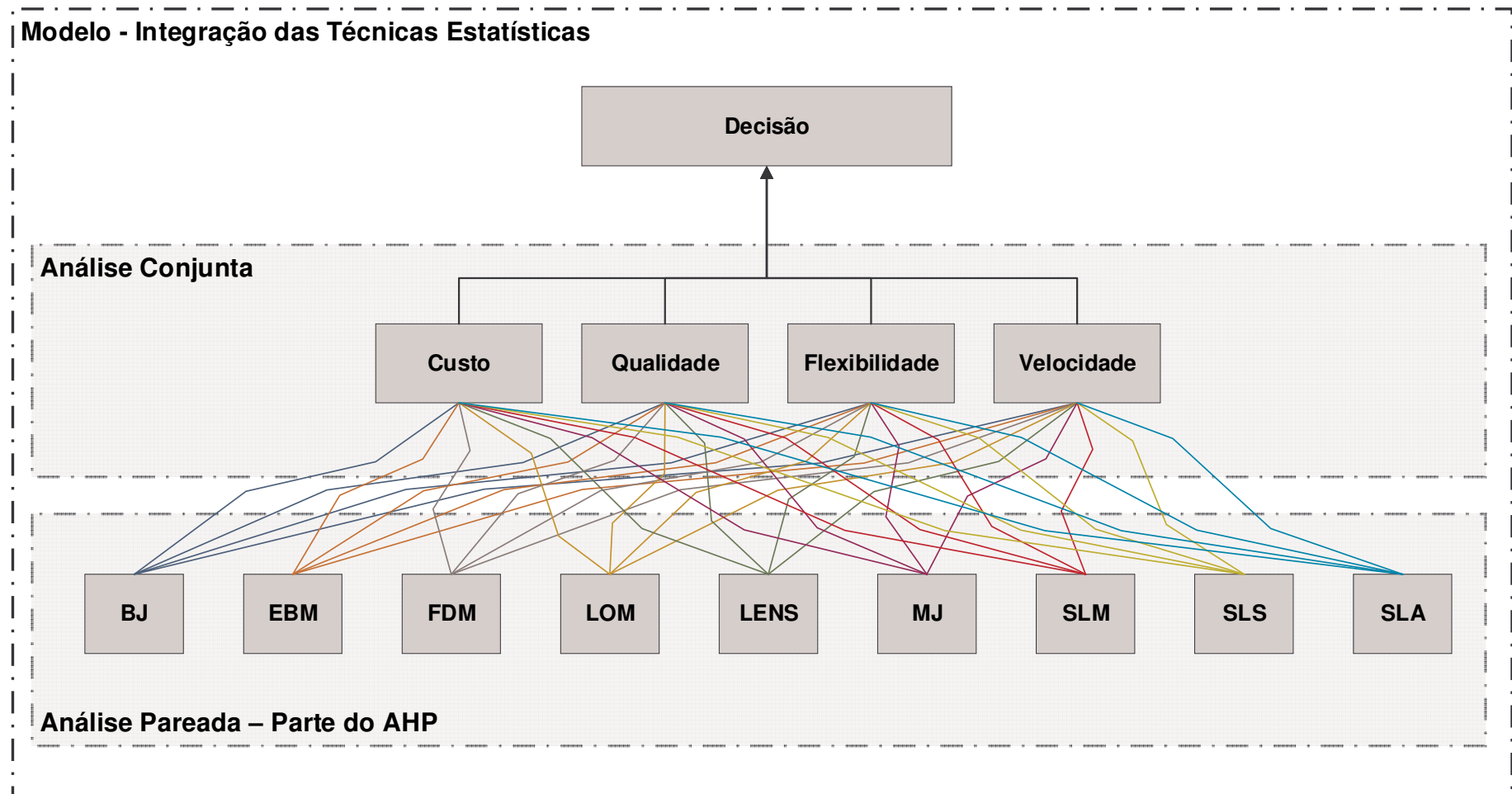
Quanto as razões para escolha do Fornecedor, além do canal de comunicação, existente entre o Fornecedor e a Universidade devido a participação/apoio em outras pesquisas, a empresa em questão atua na área de Tecnologias de Manufatura Aditiva há 30 anos e atualmente é reconhecida como líder mundial em impressão 3D, ou seja, empresa consolidada e de relevância para a participação nesta pesquisa. Além disso, possui escritórios no Brasil, México, Chile, Estados Unidos, Alemanha, Israel, Japão, Coreia do Sul, Índia e Austrália, totalizando aproximadamente 2.500 funcionários. Atuando nos segmentos automotivos, produtos, médico, dental e aeroespacial nas tecnologias FDM, SLA, EBM, SLS e MJ.

Com relação ao Especialista, além do canal de comunicação existente entre o Especialista e a Universidade devido a participação/apoio em outras pesquisas, com relação à qualificação, possui técnico mecânico pelo Instituto de Tecnologia de Jacareí, formado em Engenharia Industrial Mecânica e possui Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA. Além disso, possui experiência na área de processos convencionais e não convencionais de fabricação: usinagem, controle de vibrações em *high speed cutting* e Manufatura Aditiva. Atua profissionalmente na área de soluções Integradas em Metalmeccânica, trabalha em projetos de inovação ligados à área de fabricação e tecnologias de AM. Ou seja, o Especialista atua na área de tecnologia de AM, inclusive, indicando as tecnologias de AM para a situação apresentada, além de sua atuação acadêmica/profissional estar alinhada com o objetivo geral desta pesquisa. No próximo capítulo, apresenta-se a proposição e desenvolvimento do projeto artefato.

4 PROPOSIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO

Salchev (2016, p. 9) afirma que “A racionalidade é de natureza limitada, as decisões são tomadas por etapas e o processo de decisão é político. A maioria das decisões não é feita com base apenas em informações científicas ou técnicas, são com base em uma combinação de várias fontes de informação”. Ou seja, o tomador de decisão deverá traduzir os critérios competitivos em suas necessidades, priorizar características necessárias para então comparar com as tecnologias de AM existentes e, assim, escolher a adequada. Para o desenvolvimento do artefato, utilizaram-se duas técnicas de maneira combinada *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a Análise Conjunta. A utilização parcial das duas técnicas foi necessária para superar as limitações, a AHP devido a execução de comparações par a par e a análise conjunta pela complexidade para se analisar todos os critérios. A Figura 17 apresenta a estruturação estatística do modelo.

Figura 17 – Estruturação das Técnicas Estatísticas no Modelo



Fonte: O Autor (2019).

Este capítulo tem por objetivo tratar do desenvolvimento do artefato. Sendo inicialmente apresentada as bases para construção do modelo. Posteriormente, é realizada a consolidação e apresentação do artefato funcional, além da descrição das etapas do modelo. Além disso, por fim, apresenta-se a ferramenta computacional para operacionalização do modelo.

4.1 BASES PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO

A construção do modelo divide-se em duas etapas, são elas execução da técnica AHP e Análise Conjunta. Para a aplicação da AHP, seguiu-se as seguintes etapas (SAATY, 1983, 1990; THANKI; GOVINDAN; THAKKAR, 2016; PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018):

1. Construção da hierarquia da decisão;
2. Comparação entre os elementos da hierarquia;
3. Análise da prioridade relativa de cada critério;
4. Avaliação as consequências das prioridades relativas;
5. Construção da matriz paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas;
6. Obtenção da prioridade composta para as alternativas;
7. Escolha da alternativa.

As etapas 1, 2, 3 e 4 não foram executadas, pois essas estão relacionadas ao processo de escolha da técnica AHP. E, para este processo, esta pesquisa utilizou a Análise Conjunta (próxima seção), conforme descrito no objetivo específico “B”, este trabalho apresentará a integração da AHP com a Análise Conjunta.

Para cada um dos critérios competitivos foi estabelecido uma relação entre o critério competitivo e a característica da impressora, validada por um especialista. Conforme apresentado na seção coleta de dados, esse especialista foi escolhido, dentre outras razões, por possuir qualificação na área e por atuar profissionalmente na implantação de tecnologias de Manufatura Aditiva, além de realizar/ter realizado pesquisas acadêmicas na área de AM. Essa relação pode ser visualizada no Quadro 12.

Quadro 12 – Relação entre os critérios competitivos e as características da Tecnologia Aditiva

Critérios Competitivos	Característica da Tecnologia Aditiva	Relação
Custo	Valor de aquisição	Quanto menor melhor
Flexibilidade	Tamanho máximo de protótipos Espessura das camadas	Quanto maior melhor Quanto menor melhor
Qualidade	Precisão Qualidade de Superfície	Quanto maior melhor Quanto maior melhor
Velocidade	Velocidade	Quanto maior melhor

Fonte: O Autor (2019).

Posteriormente, os valores de cada tecnologia do banco de dados foram distribuídos de maneira normalizada na Escala de Saaty (1990). Para isso, a primeira etapa foi a normalização dos dados, onde foi realizada a diferença entre o maior e o menor valor e o resultado dividido por 9 (número máximo da Escala de Saaty). Com o resultado, iniciou-se a segunda etapa, a partir do valor mínimo selecionado, dentre as tecnologias de AM, para cada critério competitivo somou-se o resultado da normalização para realização da distribuição entre os 9 números da escala. O Quadro 13 exibe a escala utilizada para cada um dos critérios competitivos considerando as características de cada tecnologia.

Quadro 13 – Escala de Classificação

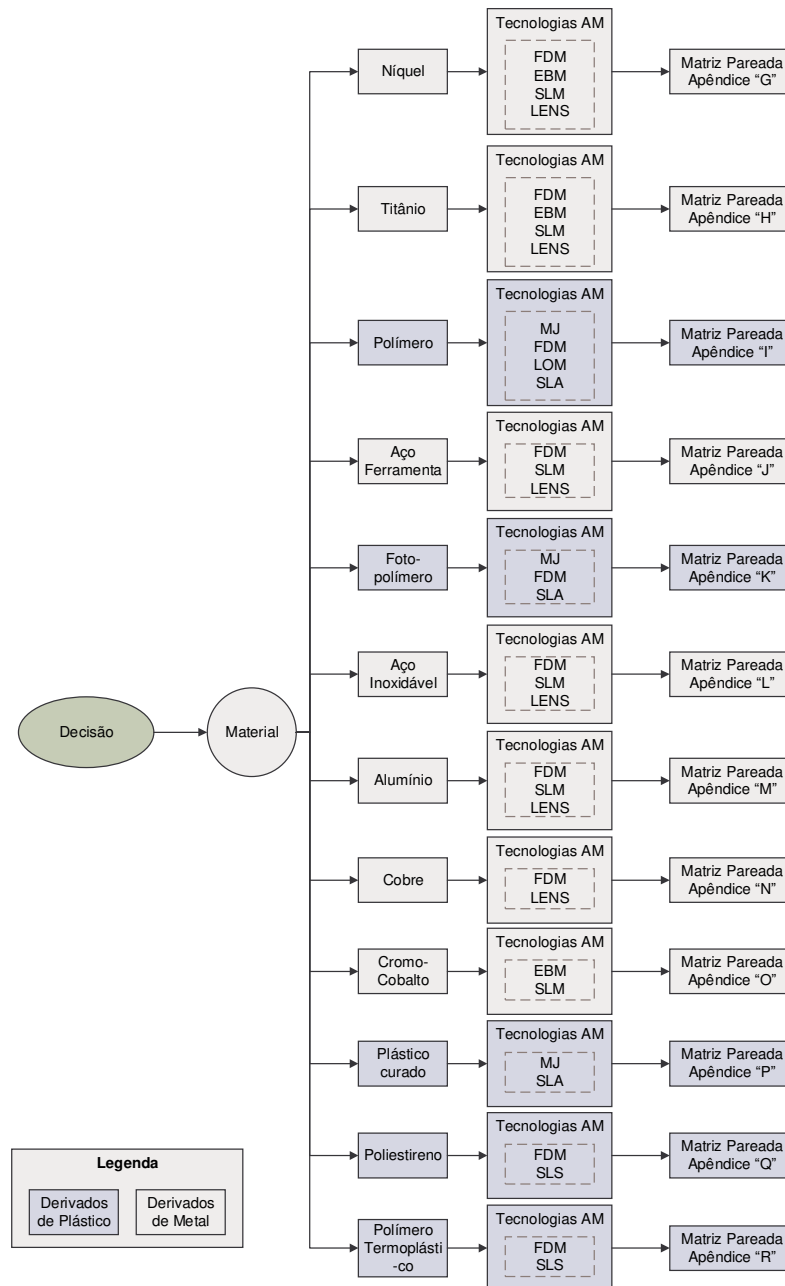
	Critério Competitivo	Qualidade	Custo	Flexibilidade		Velocidade
	Característica da Tecnologia Aditiva	Precisão	Custo	Tamanho Máximo de Protótipo	Espessura de Camada	Velocidade
Escala de Saaty	1	170 μm ou mais	\$ 220,000.00 ou mais	0.009 m^3	337 μm ou mais	0.00059 mm/h
	2	155 μm	\$ 205,000.00	0.0126307 m^3	297 μm	0.0024 mm/h
	3	140 μm	\$ 190,000.00	0.0361 m^3	257 μm	14 mm/h
	4	125 μm	\$ 175,000.00	0.03822 m^3	217 μm	16.65 mm/h
	5	110 μm	\$ 160,000.00	0.0585168 m^3	177 μm	32 mm/h
	6	95 μm	\$ 145,000.00	0.06936 m^3	137 μm	76.2 mm/h
	7	80 μm	\$ 130,000.00	0.07056 m^3	97 μm	1828800 mm/h
	8	65 μm	\$ 115,000.00	0.4655 m^3	57 μm	28800000000 mm/h
	9	50 μm	\$ 100,000.00	1.2 m^3 ou mais	17 μm	34800000000 mm/h

Fonte: O Autor (2019).

Com a escala definida, elaborou-se a matriz de materiais. Essa matriz tem o objetivo de agrupar as tecnologias por material trabalhado. Pois, não há necessidade de executar a análise pareada de todas as tecnologias de AM em conjunto, devido ao

fato de que cada tecnologia de AM trabalha com determinados materiais. A Figura 18 exibe a matriz de matérias-primas. Como saída da matriz, está o respectivo apêndice desta pesquisa onde são apresentadas as Matrizes de Comparação e as Matrizes Normalizadas e de Vetor Prioridade, ambas obtidas utilizando a Técnica AHP e a Escala de Saaty (1990), conforme explanado anteriormente.

Figura 18 – Matriz de Classificação de Tecnologias de Manufatura Aditiva de acordo com as Matérias-Primas Trabalhadas



Fonte: O Autor (2019).

As demais matérias-primas contempladas nesta pesquisa não estão listadas. Isso se deve devido ao fato de serem utilizadas por uma única tecnologia,

dispensando assim, a utilização desse modelo. Pode-se afirmar que nesse caso, de matéria-prima exclusiva de uma única tecnologia, trata-se de um critério qualificador – pois, a tecnologia de AM é escolhida instantaneamente.

Classificadas as tecnologias, conforme as matérias-primas contempladas, executa-se a matriz de comparação. Essa matriz é importante para o estabelecimento de prioridades entre os elementos de cada nível da hierarquia (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Para cada material, executou-se a matriz de comparação entre as tecnologias que utilizam determinado material. As matérias-primas contempladas nesta pesquisa podem ser visualizadas no Apêndice “F” (Quadro 37). E as Matrizes de Comparação e as Matrizes Normalizadas e de Vetor Prioridade podem ser visualizadas nos Apêndices “G”, “H”, “I”, “J”, “K”, “L”, “M”, “N”, “O”, “P”, “Q” e “R”.

Para demonstrar a técnica, detalha-se o passo a passo do critério custo para o material níquel. Para obtenção do vetor prioridade, é necessário executar três passos, são eles: i) normalizar os valores da matriz de comparações; ii) utilizando a escala de classificação (Quadro 13) exibida anteriormente, executa-se a análise pareada das tecnologias. A matriz geral pode ser visualizada na Figura 13; iii) calcular a média dos valores normalizados para assim, obter o vetor prioridade de cada critério competitivo.

O Quadro 14 exhibe a matriz de comparação do critério competitivo do custo para o material níquel. Para isso, utilizou-se a escala de classificação e o banco de dados das tecnologias de AM (Apêndice “C”). As tecnologias que trabalham com esse material são FDM, EBM, SLM e LENS.

Quadro 14 – Matriz de Comparação – Material Níquel – Critério Competitivo Custo

Material: Liga de Níquel				
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2	2
Electron Beam Melting (EBM)	1/2	1	1	1
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1/1	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1/1	1

Fonte: O Autor (2019).

A Tecnologia FDM em relação à EBM foi classificada como 2, pois o valor de aquisição corresponde a essa classificação na escala. E, conseqüentemente, a Tecnologia EBM em relação à FDM foi classificada como $\frac{1}{2}$, ou seja, o inverso, pois essa técnica utiliza o conceito de reciprocidade (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Concluída a classificação, realiza-se a normalização dos dados. A

normalização dos dados da matriz de prioridade é obtida através da divisão do valor de cada componente pelo somatório de todos os valores das colunas (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Posteriormente, executa-se o vetor prioridade, obtido através da média dos valores normalizados de cada critério competitivo (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). O Quadro 15 exibe a matriz normalizada e o vetor prioridade do material níquel para o critério competitivo custo.

Quadro 15 - Matriz Normalizada e Vetor Prioridade – Material Níquel – Critério Competitivo Custo

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4000
Electron Beam Melting (EBM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Selective Laser Melting (SLM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000

Fonte: O Autor (2019).

Esse procedimento foi repetido para todos os critérios competitivos e matérias-primas. Com relação ao critério competitivo flexibilidade, por possuir duas características dos equipamentos de AM (tamanho máximo de protótipos e espessura da camada), requer que esse processo seja executado duas vezes. Posteriormente, para obtenção do vetor prioridade total, executa-se a ponderações entre os valores obtidos para tamanho máximo de protótipo e espessura de camada. E, com relação ao critério qualidade, conforme explanado anteriormente, caso seja identificado na literatura que determinada tecnologia possua qualidade de superfície, soma-se “+1” em relação a nota da escala de classificação. O Quadro 16 exibe o vetor prioridade para cada uma das matérias-primas e respectivas tecnologias de AM. Os materiais não listados, trabalham com apenas uma das nove tecnologias utilizadas nesta pesquisa – dispensando assim, a análise pareada.

Quadro 16 – Matriz de Comparação – Material x Tecnologia

MATERIAIS	TECNOLOGIA	VETOR PRIORIDADE - MATRIZ NORMALIZADAS			
		CUSTO	FLEXIBILIDADE	QUALIDADE	VELOCIDADE
Liga de Níquel	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.400000000	0.083369266	0.732759740	0.053023855
Liga de Níquel	Electron Beam Melting (EBM)	0.200000000	0.845650187	0.119274892	0.575166243
Liga de Níquel	Selective Laser Melting (SLM)	0.200000000	0.507186273	0.087911255	0.081685498
Liga de Níquel	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.200000000	0.563794274	0.060054113	0.290124405
Liga de Titânio	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.400000000	0.083369266	0.732759740	0.053023855
Liga de Titânio	Electron Beam Melting (EBM)	0.200000000	0.845650187	0.119274892	0.575166243
Liga de Titânio	Selective Laser Melting (SLM)	0.200000000	0.507186273	0.087911255	0.081685498
Liga de Titânio	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.200000000	0.563794274	0.060054113	0.290124405
Polímero	Material Jetting (MJ)	0.072587421	1.027140468	0.042118529	0.750000000
Polímero	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.106300272	0.549152731	0.581769465	0.083333333
Polímero	Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.736620124	0.179303233	0.188056003	0.083333333
Polímero	Stereolithography (SLA)	0.084492183	0.244403567	0.188056003	0.083333333
Aço Ferramenta	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.500000000	0.128086755	0.808441558	0.103328469
Aço Ferramenta	Selective Laser Melting (SLM)	0.250000000	0.926855317	0.117604618	0.174136613
Aço Ferramenta	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.250000000	0.945057928	0.073953824	0.722534918
Fotopolímero	Material Jetting (MJ)	0.261111111	0.916371863	0.064018219	0.818181818
Fotopolímero	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.411111111	0.658782394	0.499240891	0.090909091
Fotopolímero	Stereolithography (SLA)	0.327777778	0.424845742	0.436740891	0.090909091
Liga Aço Inoxidável	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.500000000	0.128086755	0.808441558	0.103328469
Liga Aço Inoxidável	Selective Laser Melting (SLM)	0.250000000	0.926855317	0.117604618	0.174136613
Liga Aço Inoxidável	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.250000000	0.945057928	0.073953824	0.722534918
Liga de Alumínio	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.500000000	0.128086755	0.808441558	0.103328469
Liga de Alumínio	Selective Laser Melting (SLM)	0.250000000	0.926855317	0.117604618	0.174136613
Liga de Alumínio	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.250000000	0.945057928	0.073953824	0.722534918
Liga de Cobre	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.666666667	0.242857143	0.900000000	0.142857143
Liga de Cobre	Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.333333333	1.757142857	0.100000000	0.857142857
Liga de Cromo-Cobalto	Electron Beam Melting (EBM)	0.500000000	1.777777778	0.800000000	0.888888889
Liga de Cromo-Cobalto	Selective Laser Melting (SLM)	0.500000000	0.222222222	0.200000000	0.111111111
Plástico Curado UV/Termorresistente/Cinza	Material Jetting (MJ)	0.416666667	1.383333333	0.121428571	0.900000000
Plástico Curado UV/Termorresistente/Cinza	Stereolithography (SLA)	0.583333333	0.616666667	0.878571429	0.100000000
Poliestireno	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.666666667	0.642857143	0.900000000	0.166666667
Poliestireno	Selective Laser Sintering (SLS)	0.333333333	1.357142857	0.100000000	0.833333333
Polímero Termoplástico	Fused Deposition Modeling (FDM)	0.666666667	0.642857143	0.900000000	0.166666667
Polímero Termoplástico	Selective Laser Sintering (SLS)	0.333333333	1.357142857	0.100000000	0.833333333
Acrílico (Semelhante)	Material Jetting (MJ)	-	-	-	-
Areia de Cerâmica Sintética	Binder Jetting (BJ)	-	-	-	-
Borracha	Material Jetting (MJ)	-	-	-	-
Celulose	Laminated Object Manufacturing (LOM)	-	-	-	-
Fibras de vidro	Fused Deposition Modeling (FDM)	-	-	-	-
Filamento de PET com Propilenoglicol	Fused Deposition Modeling (FDM)	-	-	-	-
Filamento de Polímero com fibras de madeira	Fused Deposition Modeling (FDM)	-	-	-	-
Filamento de Polímero com partículas de Cobre	Fused Deposition Modeling (FDM)	-	-	-	-
Filamento de Polímero com pó de Bronze	Fused Deposition Modeling (FDM)	-	-	-	-
Liga de Cobalto	Laser Engineering Net Shape (LENS)	-	-	-	-
Liga de Refratários	Laser Engineering Net Shape (LENS)	-	-	-	-
Metal Fundido	Stereolithography (SLA)	-	-	-	-
Nylon preenchido com pó de Alumínio	Selective Laser Sintering (SLS)	-	-	-	-
Óxido de Ferro e Cromo	Binder Jetting (BJ)	-	-	-	-
Poliamida	Selective Laser Sintering (SLS)	-	-	-	-
Poliamida com fibras de Carbono	Selective Laser Sintering (SLS)	-	-	-	-
Policarbonato	Stereolithography (SLA)	-	-	-	-

Fonte: O Autor (2019).

O critério com maior vetor prioridade exerce um maior impacto no objetivo central da análise (PIRAN; LACERDA; CAMARGO, 2018). Por fim, para cada uma das prioridades, é necessário executar a avaliação da consistência das prioridades relativas. A razão da consistência deve ser 10% ou menos para ser aceitável, caso não seja, a qualidade das análises deve ser melhorada (SAATY, 1983). Todos os resultados foram aceitáveis conforme exposto no Quadro 17, matérias primas com

duas ou menos tecnologias não é calculado a consistência e por fim, as demais matérias primas são utilizadas por uma única tecnologia de Manufatura Aditiva.

Quadro 17 – Consistências Obtidas

Matérias Primas Critérios Competitivos	Níquel	Titânio	Polímero	Aço Ferramenta	Fotopolímero	Aço Inoxidável	Liga de Alumínio	Liga de Cobre	Liga de Cromo-Cobalto	Plástico Curado	Poliestireno	Polímero Termoplástico
	Custo	0.00%	0.00%	2.40%	0.00%	4.79%	0.00%	0.00%	-	-	-	-
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	1.50%	1.50%	1.40%	2.67%	2.81%	2.67%	2.67%	-	-	-	-	-
Qualidade	8.00%	8.00%	0.07%	9.52%	0.02%	9.52%	9.52%	-	-	-	-	-
Velocidade	7.11%	7.11%	0.00%	4.25%	0.00%	4.25%	4.25%	-	-	-	-	-
Flexibilidade - Espessura Camada	4.10%	4.10%	0.00%	3.86%	0.00%	3.86%	3.85%	-	-	-	-	-

Fonte: O Autor (2019).

Finalizada a técnica AHP, inicia-se o desenvolvimento da análise conjunta. Esta é utilizada para avaliar os julgamentos dos consumidores sobre atributos de produtos e serviços (GREEN; WIND, 1975). Para a execução da análise conjunta, emprega-se estímulos, nesta pesquisa, utilizou-se cartões. Com as combinações específicas (estímulos), o pesquisador busca entender a estrutura de preferência do respondente (HAIR et al., 2006). Esta pesquisa utilizou o procedimento de perfil pleno, onde se constroem perfis completos para todos os atributos (MALHOTRA, 2012). Ou seja, foram construídos perfis considerando todas as possibilidades/variações possíveis. Além disso, para cada um dos atributos, esta pesquisa adotou 3 níveis, são eles “Alto”, “Médio” e “Baixo”.

Como são três níveis para cada um dos quatro fatores (critérios competitivos), logo, há 64 combinações (4^3). Objetivando tornar o modelo enxuto, utilizou-se o método de fatoriais fracionados que reduzem a quantidade de combinações para um menor número; o resultado chama-se matriz ortogonal. Essa matriz apresenta as combinações suficientes para analisar os efeitos/utilidades para cada nível dos perfis/fatores (MALHOTRA, 2012; MONTGOMERY, 2012). Para execução deste método, utilizou-se a ferramenta estatística IBM SPSS versão 25, esta pesquisa obteve 9 estímulos que podem ser visualizadas no Apêndice “D”. Como exemplos de trabalhos que utilizaram método fracionários/matriz ortogonal pode-se citar (COBB; CLARKSON, 1994; A. CHENNAKESAVA REDDY; V.M. SHAMRAJ, 1998; KIM et al., 2005; KC et al., 2016; GÖKKUŞ et al., 2017). No Quadro 18 é possível visualizar o modelo de cartão utilizado na coleta de dados. Conforme apresentado previamente, utiliza-se os seguintes critérios competitivos: custo, flexibilidade, qualidade e velocidade.

Quadro 18 - Modelo de Cartão

1				
Critérios Competitivos	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Características	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Fonte: O Autor (2019).

Com a quantidade de estímulos definidas, inicia-se o processo de execução da análise conjunta por meio da coleta de dados. Inicialmente, o entrevistado deverá especificar o material utilizado, posteriormente, ordenar os cartões de maneira a representar a situação vivenciada no sistema produtivo em questão. Note que o ordenamento deverá ser feito da situação de maior preferência à menor. Com o ordenamento dos estímulos coletados, inicia-se o desenvolvimento da análise conjunta. Para os atributos, no IBM SPSS, foi utilizado a categoria LINEAR LESS/MORE, indicando assim, que há um relacionamento linear esperado entre o fator e a pontuação obtida. Ou seja, *more* indica que níveis mais altos são esperados como preferidos e *less* níveis mais baixos.

Quanto à validade interna, essa pode ser avaliada em termos de correlação entre os valores dados versus os valores estimados para a variável dependente (GREEN; SRINIVASAN, 1978). Neste trabalho, a ordenação dos estímulos (cartões) é uma variável não métrica, por isto, a validade interna deve ser estimada pelo Tau de Kendall, indicado para variáveis ordinais (onde existe ordenação entre as categorias). Para a confirmação da confiabilidade e da validade dos resultados os valores do Tau de Kendall, para os cartões normais, devem ser significativos ($p < 0,050$). Na próxima seção, executou-se a construção do modelo por meio da integração das técnicas estatísticas descritas nesta seção.

4.2 PROPOSIÇÃO DO MODELO

Nesta seção, explana-se o artefato funcional e suas etapas. Com os vetores prioridades obtidos por meio da AHP e as utilidades obtidas para cada um dos critérios competitivos através da Análise Conjunta, iniciou-se a proposição do modelo por meio da integração das técnicas estatísticas. O mesmo pode ser dividido em três etapas, são elas: execução da técnica AHP, execução da análise conjunta e, por fim, a integração de ambas as técnicas. Sendo a terceira etapa, o objetivo específico “B” desta pesquisa.

A primeira e a segunda etapa foram descritas detalhadamente na seção 4.1, a terceira etapa referente a integração das técnicas AHP e a análise conjunta serão descritas nesta seção.

A integração das técnicas AHP e análise conjunta é realizada por meio da multiplicação do vetor prioridade pela utilidade encontrada para cada um dos critérios competitivos para cada uma das tecnologias. A multiplicação é efetuada para execução da composição das funções. A Equação 6 demonstra a equação do modelo proposto nesta pesquisa e o Quadro 19 demonstra o cálculo.

Equação 6 – Modelo de Apoio à Decisão para Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva em Sistemas Produtivos

$$\text{Ranking de Tecnologias de Manufatura Aditiva} = \left[\begin{array}{l} \text{(Valor total para produto)}_{ij \dots nij} \\ = \text{Utilidade parcial do nível } i \text{ para o fator } 1 + \\ \text{Utilidade parcial do nível } j \text{ para o fator } 2 + \dots + \\ \text{Utilidade parcial do nível } n \text{ para o fator } m \end{array} \right] \times \text{Vetor Prioridade}$$

(Análise Conjunta) (AHP)

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 19 – Demonstração do cálculo – Indicação Artefato

Tecnologias	Vetor prioridade / Utilidade				Preferências
	Custo	Qualidade	Flexibilidade	Velocidade	
Tec. 1	vp1 / u1	vp2 / u2	vp3 / u3	vp4 / u4	A
Tec. “n”	Vp n / u n	Vp n / un	vpn / un	vpn / un	n

Fonte: O Autor (2019).

Onde, multiplica-se o vetor prioridade pela utilidade para cada uma das tecnologias. Ou seja: $(\text{tec1 vetor prioridade custo} \times \text{tec1 utilidade custo}) + (\dots) + (\text{vp4} \times \text{u4}) = \text{preferência}$. A tecnologia com o maior valor resultante (preferência), refere-se à Tecnologia Aditiva que melhor se adequa à situação considerada na execução do artefato, isto é, a saída do modelo desenvolvido nesta pesquisa. A próxima seção refere-se a ferramenta computacional para operacionalização deste modelo.

4.3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO

Finalizada a construção do artefato, iniciou-se o processo de desenvolvimento da interface. Como o objetivo geral desta pesquisa é propor um modelo de apoio à tomada de decisão, baseado nas características das tecnologias aditivas e nos critérios competitivos para seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva em sistemas produtivos, buscou-se a utilização de uma interface intuitiva. Essa interface busca operacionalizar o modelo de maneira fácil e rápida, minimizando eventuais erros de preenchimento. A Figura 19 exibe a interface do artefato.

A mesma pode ser dividida em três partes. Na primeira, seleciona-se a partir de uma lista pré-definida (Apêndice “F”) o material a ser utilizado; Na segunda parte, insere-se as utilidades obtidas após a execução da análise conjunta na ferramenta estatística IBM SPSS versão 25; Por fim, automaticamente e utilizando o vetor prioridade obtido através do AHP, o Artefato indicará a Tecnologia de Manufatura Aditiva mais recomendada ao sistema produtivo por meio da execução da Equação 6 – nesse caso, está indicando o preenchimento das etapas 1 e 2.

Figura 19 – Interface do Artefato

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

1 { Informe o material a ser utilizado:

2 { Informe a **Utilidade** obtida para cada um dos atributos e seus níveis:

	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Alto				
Médio				
Baixo				

3 { A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Preencha os dados

Fonte: O Autor (2019).

Adicionalmente, esta pesquisa desenvolveu a interface exibida na Figura 20 com intuito de ser utilizada como base em trabalho futuro. A mesma pode ser dividida em três partes. Na primeira, seleciona-se a partir de uma lista pré definida (Apêndice “F”) o material a ser utilizado; Na segunda parte, insere-se o ordenamento dos cartões de acordo com as preferências do sistema produtivo em questão; Por fim, automaticamente, o Artefato indicará a Tecnologia de Manufatura Aditiva mais recomendada ao sistema produtivo. A diferença dessa interface para a anterior, é que a mesma utiliza uma única plataforma para execução de todo o artefato e também, demanda apenas das informações do usuário final (matéria-prima e ordenamento do cartão) – não há necessidade de calcular a utilidade na ferramenta estatística IBM SPSS para inserí-la no artefato. No próximo capítulo, apresenta-se a avaliação do artefato.

Figura 20 – Interface Futura do Artefato

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Informe o material a ser utilizado:

Cartões

Cartão	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
1	Alto	Alto	Alto	Alto
2	Alto	Médio	Médio	Médio
3	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
4	Médio	Alto	Médio	Baixo
5	Médio	Médio	Baixo	Alto
6	Médio	Baixo	Alto	Médio
7	Baixo	Alto	Baixo	Médio
8	Baixo	Médio	Alto	Baixo
9	Baixo	Baixo	Médio	Alto

Ordene os cartões de forma a representar a situação vivenciada no Sistema Produtivo

Maior Preferência Menor Preferência

1 2 3 4 5 6 7 8 9

A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Resultado

Fonte: O Autor (2019).

5 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Este capítulo apresenta os resultados do artefato. Serão apresentados os resultados sob três aspectos distintos: do ponto de vista do decisor, fornecedor e especialista.

5.1 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta seção será dividida em três partes. A primeira será relativa ao ponto de vista do decisor, a segunda do fornecedor e, por fim, o especialista.

Com relação ao decisor, esta pesquisa trabalhou com 2 respondentes que foram entrevistados. O Quadro 20 exhibe o perfil tanto dos entrevistados como da empresa em que os mesmos trabalham na época da aquisição do equipamento.

Quadro 20 – Perfil dos Entrevistados - Decisores

Descrição	Entrevistado 1	Entrevistado 2
Área de atuação da empresa	Ramo plástico para o mercado da construção civil	Área médica ortopédica
Nº de Funcionários	~500	~250
Sector de atuação no momento da aquisição	Engenharia / Analista de Processos	Engenharia de Projetos / Desenhista Mecânico Pleno
Ano de aquisição da Tecnologia Aditiva	2016/2	2017/2
Duração do processo de aquisição	6 meses	3 meses
Tempo de atuação na área da Manufatura Aditiva	2 anos	1,5 ano

Fonte: O Autor (2019).

Apesar das empresas de ambos os entrevistados atuarem em segmentos distintos, atuavam no mesmo setor de suas empresas e possuem praticamente a mesma experiência na área de Tecnologias Aditivas. Nota-se que, nos dois casos, o processo de tomada de decisão foi próximo (3~6 meses).

Com relação ao Entrevistado 1, por meio do questionário, identificaram-se alguns aspectos, tais como: o setor que o mesmo atuava estava focado no desenvolvimento de ferramentas para injetoras plásticas, com isso, o equipamento de Manufatura Aditiva era utilizado exclusivamente para desenvolvimento de novos produtos ou testes, ou seja, protótipos. Sendo esse aspecto evidenciado no seguinte trecho da entrevista “(...) como é uma indústria de plástico, tem muito componentes que possuem encaixes/cliques (...). Então, basicamente ela é utilizada para desenvolvimento de novos produtos e alterações dimensionais e de design.”.

Quanto à decisão para a necessidade de aquisição do equipamento de AM, a mesma pode ser dividida em três fatores, são eles: apresentação de protótipos/produtos, custo de ferramental e fornecedor da tecnologia de AM. Com relação a apresentação e validação dos componentes, havia uma dificuldade constante em aprovar os produtos/protótipos por meio da apresentação computadorizada à direção. Sendo assim, a tecnologia de AM facilitaria o processo, utilizando trecho da entrevista, “(...) tendo ele fisicamente a gente tinha ideia de tentar melhorar, essa questão “vender melhor a ideia” em termos mais simples.” Com relação ao custo de ferramental, cada novo produto, exige novos ferramentais que possuem um valor de aquisição elevado, como destacado “Para fabricar um protótipo direto na fábrica, tinha que parar uma máquina, dedicar uma máquina só para isso. Teria que fazer algum investimento em ferramental, molde, isso são investimentos bem altos.”. Então, a tecnologia de AM possibilitaria a fabricação dos testes sem esse custo de desenvolvimento de ferramental.

Por fim, o fornecedor, teve um papel chave na aquisição e consequente escolha da tecnologia de AM. Essa questão foi destacada em diversos pontos da entrevista:

“Nós já conhecíamos essa ferramenta, mas a gente antes de o fornecedor entrar em contato com a gente e oferecer essa solução (...). Foi um negócio mais de oportunidade de unir o útil ao agradável. Ele ofereceu essa solução e a gente entendeu que era viável para a gente.”

Com relação aos critérios competitivos, o critério velocidade obteve um maior destaque. Devido ao tempo de desenvolvimento de novas ferramentas para novos produtos, o *lead time* de desenvolvimento era longo. Por essa razão o setor era constantemente cobrado sobre prazos por parte da gestão. O retorno que a tecnologia de AM trouxe para a empresa foi destacado durante a entrevista:

“Por exemplo, se eu fizer um protótipo ali na Engenharia, eu faço de um dia para o outro, se não no mesmo dia – dependendo da peça. Quando a gente fazia terceirizado, além de ter o custo, comprar esse protótipo, têm todas aquelas questões burocráticas, fazer pedido de compra, desenvolver fornecedor, prazo de entrega do fornecedor (10, 15, 30 dias).”

Por fim, os critérios competitivos qualidade, flexibilidade e custo não foram considerados importantes, pois o foco da empresa era desenvolvimento de protótipos. Sendo esse aspecto corroborado “Essas questões de qualidade de impressão ou tamanho da impressão não era tão importante.”. E, com relação ao critério custo,

refere-se a uma diretriz da empresa em considerar este critério em todas as aquisições.

Quanto às características das impressoras relacionadas aos critérios competitivos, todas foram consideradas pelo Entrevistado 1 no processo de tomada de decisão. Finalmente, as necessidades do sistema produtivo foram atendidas *“Sim, aquele nosso principal objetivo de fazer protótipos mais rápidos, até para ter velocidade de alteração quando necessário podemos considerar que os nossos principais objetivos foram plenamente atendidos.”*

Quanto ao Entrevistado 2, por meio do questionário, observaram-se alguns aspectos, tais como: que o mesmo estava focado no desenvolvimento de próteses e dispositivos ortopédicos, que, de certa forma, cada caso é um protótipo. Pois, deve-se adaptar o dispositivo a situação encontrada no corpo do paciente.

Com relação à decisão quanto à necessidade de aquisição do equipamento de AM, a mesma pode ser dividida em dois fatores, são eles: pesquisa da empresa/Entrevistado 2 e fornecedor da tecnologia de AM. Quanto à pesquisa, constatou-se durante a entrevista um maior domínio das tecnologias existentes e a realização de pesquisas sobre a tecnologia de AM que estaria sendo adquirida. Como evidenciado na entrevista:

“Comparamos com a manufatura padrão com a Manufatura Aditiva e chegamos a uma conclusão que o preço e tempo de fabricação e o processo de cada dispositivo seria menor que a forma padrão de fabricação.” e “No momento que pesquisamos que alguns dispositivos nossos poderiam ser fabricado nessa tecnologia e ser aplicada em alguns processos fabril.”

Ao final, o fornecedor por possuir um relacionamento de longo prazo com a empresa, também teve um papel de destaque no processo de seleção da tecnologia aditiva. Pois, a indicação da tecnologia, partiu dele conforme dito *“A empresa já tinha uma parceira que nos dá auxílio na parte de CAD e CAM, vindo dessa parceria, eles nos indicaram essa tecnologia.”*

Quanto aos critérios competitivos, o de maior importância foi o critério qualidade. Pois, de acordo com o entrevistado, *“Porque trabalhamos na área médica e todos os protótipos tem que ser fabricados o mais próximo e preciso do real.”*. Por fim, os critérios competitivos velocidade, custo e flexibilidade não foram considerados importantes. Velocidade pelo fato de a empresa atuar na área ortopédica, como por exemplo, instrumentos cirúrgicos. Onde, *“precisão e a qualidade era o que*

buscávamos, já a velocidade (...) não era necessidade.”. E, pelas mesmas razões, custo e flexibilidade não foram destacados. O importante para a empresa é produzir produtos ou protótipos com a qualidade e precisão, a fim de evitar problemas futuros.

Quanto às características das impressoras relacionadas aos critérios competitivos, todas foram consideradas pelo Entrevistado 2 no processo de tomada de decisão. Por exemplo, precisão e qualidade de superfície: *“Sim. Principalmente para os protótipos de instrumentais cirúrgicos.”*; Tamanho máximo de protótipos: *“Sim, levando em consideração a precisão e o tamanho do Build da impressora, temos dispositivos com uma área de impressão grande e protótipos pequenos com uma precisão alta.”*; entre outros trechos da entrevista. E, no final, as necessidades do sistema produtivo foram atendidas *“Sim, a demanda interna dos dispositivos só vem aumentando e as melhorias são vistas no dia a dia.”*.

Sintetizando para o Entrevistado 1, a necessidade de aquisição do equipamento surgiu a partir da dificuldade em aprovar novos produtos com a direção da empresa. A falta de visualização da peça pronta fisicamente era um ponto constante de dificuldade. Para o Entrevistado 2, a necessidade de aquisição surgiu da constatação de que parte dos componentes poderia ser fabricado utilizando Tecnologias de Manufatura Aditiva. Em ambas as situações, manufatura e desenvolvimento de projeto, são contemplados na relação do sistema produtivo conforme o sistema de manufatura proposto por Black (1998). Além de que, esses investimentos, estão se tornando uma arma competitiva para o sistema de produção dessas organizações, conforme afirmado por Skinner (1974).

O Quadro 21 exhibe a utilidade encontrada utilizando o IBM SPSS, versão 25, para execução da análise conjunta com base no ordenamento dos cartões efetuado pelo Entrevistado 1.

Quadro 21 – Utilidade – Entrevistado 1

Critério Competitivo	Utilidade
	Entrevistado 1
Custo	1,0000
Flexibilidade	-3,0000
Qualidade	-1,0000
Velocidade	5,0000

Fonte: O Autor (2019).

Com base nas utilidades obtidas, verifica-se que a análise quantitativa está

alinhada com a análise qualitativa (entrevistas x utilidades). Sendo que, o Entrevistado 1 afirmou que o critério competitivo de maior importância era velocidade e o de menor era flexibilidade. Custo e qualidade não foram destacados, custo por ser considerado normalmente pela empresa em todas as aquisições e qualidade, por se tratar de uma impressora utilizada apenas para protótipos, itens como precisão e qualidade de superfície não foram considerados. O Quadro 22 exibe a utilidade encontrada utilizando o IBM SPSS, versão 25, para execução da análise conjunta com base no ordenamento dos cartões efetuado pelo Entrevistado 2.

Quadro 22 – Utilidade – Entrevistado 2

Critério Competitivo	Utilidade Entrevistado 2
Custo	0,3333
Flexibilidade	0,6667
Qualidade	6,0000
Velocidade	0,3333

Fonte: O Autor (2019).

Com base nas utilidades obtidas, verifica-se que a análise quantitativa está alinhada com a análise qualitativa (entrevistas x utilidades). O Entrevistado 2, por ser da área ortopédica, destacou diversas vezes a importância de o componente possuir qualidade (precisão e qualidade de superfície), razão pela qual o critério velocidade e custo não possuiriam tanta importância para a aplicação.

Por fim, o valor do Tau de Kendall foi de 0,817 (Sig. 0,001) para o Entrevistado 1 e de 0,957 (Sig. 0,000) para o Entrevistado 2. Utilizando como base um nível de significância de inferior a 0,050, os valores encontrados comprovam a confiabilidade e validade interna da pesquisa. O Quadro 23 exibe a indicação do Artefato para o Entrevistado 1.

Quadro 23 – Resultado artefato – Entrevistado 1 (Decisor)

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS				
Informe o material a ser utilizado:				
Polímero				
Informe a Utilidade obtida para cada um dos atributos e seus níveis:				
	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Alto	1.5000	-4.5000	-1.5000	7.5000
Médio	1.0000	-3.0000	-1.0000	5.0000
Baixo	0.5000	-1.5000	-0.5000	2.5000

A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Material Jetting (MJ)

Fonte: O Autor (2019).

Utilizando a indicação para o Entrevistado 1, ilustra-se o passo a passo para obtenção do resultado. O Quadro 24 exhibe os resultados utilizados na primeira etapa.

Quadro 24 – Vetor Prioridade para as Tecnologias de Manufatura Aditiva que utilizam a matéria prima Polímero

CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS (ANÁLISE PAREADA AHP)	CUSTO	FLEXIBILIDADE	QUALIDADE	VELOCIDADE
Material Jetting (MJ)	0.0725874212	1.0271404682	0.0421185292	0.7500000000
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.1063002719	0.5491527313	0.5817694654	0.0833333333
Binder Jetting (BJ)	-	-	-	-
Selective Laser Sintering (SLS)	-	-	-	-
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.7366201239	0.1793032330	0.1880560027	0.0833333333
Stereolithography (SLA)	0.0844921831	0.2444035674	0.1880560027	0.0833333333
Electron Beam Melting (EBM)	-	-	-	-
Selective Laser Melting (SLM)	-	-	-	-
Laser Engineering Net Shape (LENS)	-	-	-	-

Fonte: O Autor (2019).

Nesta etapa, após a seleção da matéria prima utilizada pelo respondente, a ferramenta computacional utilizando como base o Quadro 16 – Matriz de Comparação – Material x Tecnologia obtido após a execução das análises pareadas, busca e

retorna os vetores prioridades das tecnologias que utilizam o material selecionado. O Quadro 25 exibe os resultados utilizados na segunda etapa.

Quadro 25 – Utilidade encontrada para cada um dos Critérios Competitivos - Entrevistado 1

F(x) Utilidade CUSTO	F(x) Utilidade FLEXIBILIDADE	F(x) Utilidade QUALIDADE	F(x) Utilidade VELOCIDADE
1.0000000000	-3.0000000000	-1.0000000000	5.0000000000

Fonte: O Autor (2019).

Com base no ordenamento dos cartões do respondente, neste caso Entrevistado 1, calcula-se as utilidades para cada um dos critérios competitivos utilizando a técnica análise conjunta. Por fim, na terceira etapa, operacionaliza-se o modelo proposto nesta pesquisa. O Quadro 26 exibe os resultados obtidos após a operacionalização do modelo para cada uma das tecnologias de AM.

Quadro 26 – Resultados obtidos após operacionalização do Modelo

PREFERÊNCIAS	TECNOLOGIAS	TECNOLOGIA RECOMENDADA	
0.699047487	Material Jetting (MJ)	0.699047487	Material Jetting (MJ)
-1.706260721	Fused Deposition Modeling (FDM)		
-	Binder Jetting (BJ)		
-	Selective Laser Sintering (SLS)		
0.427321089	Laminated Object Manufacturing (LOM)		
-0.420107855	Stereolithography (SLA)		
-	Electron Beam Melting (EBM)		
-	Selective Laser Melting (SLM)		
-	Laser Engineering Net Shape (LENS)		

Fonte: O Autor (2019).

Observe que, para a situação obtida a partir do Entrevistado 1, o modelo está indicando a Tecnologia MJ por ter obtido o maior valor resultante. Para a operacionalização do modelo, utiliza-se a Equação 6 proposta no capítulo anterior, o passo a passo para obtenção do valor resultando da tecnologia MJ pode ser visualizado na equação Equação 7.

Equação 7 – Operacionalização do Modelo – Tecnologia MJ – Entrevistado 1

Operacionalização do Modelo – Entrevistado 1

= (utilidade critério custo x vetor prioridade da análise pareada critério custo)
 + (utilidade critério flexibilidade x vetor prioridade da análise pareada crit. flexibilidade)
 + (utilidade critério qualidade x vetor prioridade da análise pareada crit. qualidade)
 + (utilidade critério velocidade x vetor prioridade da análise pareada crit. velocidade)

Operacionalização do Modelo – Entrevistado 1 = (0.0725874212 x 1) +
 (1.0271404682 x - 3) + (0.0421185292 x - 1) + (0.7500000000 x 5) = **0,6990474874**

Quadro 27 - Resultado artefato – Entrevistado 2 (Decisor)

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Informe o material a ser utilizado:

Polímero

Informe a **Utilidade** obtida para cada um dos atributos e seus níveis:

	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Alto	0.5000	1.0000	9.0000	0.5000
Médio	0.3330	0.6670	6.0000	0.3330
Baixo	0.1670	0.3330	3.0000	0.1670

A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Fused Deposition Modeling (FDM)

Fonte: O Autor (2019).

Com relação ao Fornecedor, para execução/avaliação do modelo, o Fornecedor optou por utilizar um cenário hipotético em que a impressora de Tecnologia MJ é destinada à prototipagem rápida, onde as peças são utilizadas

apenas para validação de *design* e visual. Ou seja, as características de precisão e qualidade de superfície vinculada ao critério competitivo qualidade deverão ter um maior destaque para essa situação. Sendo manufaturadas com o material fotopolímero.

Apesar de ser uma situação hipotética, a mesma foi desenvolvida pelo Fornecedor com base em situações reais vivenciadas pela empresa. O Quadro 28 exibe as utilidades encontradas com base no ordenamento dos cartões efetuado pelo Fornecedor.

Quadro 28 – Utilidade - Fornecedor

Critério Competitivo	Utilidade
	Fornecedor
Custo	-0,6667
Flexibilidade	0,6667
Qualidade	6,0000
Velocidade	0,3333

Fonte: O Autor (2019).

Conforme observado, o critério de maior importância foi a qualidade. Esse resultado está alinhado com a situação informada, onde, a tecnologia será utilizada para validação de *design* e visual. Conseqüentemente, o valor do Tau de Kendall foi de 0,857 (Sig. 0,001), utilizando como base um nível de significância de inferior a 0,050, os valores encontrados comprovam a confiabilidade e validade interna da pesquisa. O Quadro 29 exibe a indicação do Artefato para a situação do Fornecedor.

Quadro 29 - Resultado artefato – Fornecedor

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS				
Informe o material a ser utilizado:				
Fotopolímero				
Informe a Utilidade obtida para cada um dos atributos e seus níveis:				
	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Alto	-1.0000	1.2990	9.0000	0.1670
Médio	-0.6670	0.8660	6.0000	0.3330
Baixo	-0.3330	0.4330	3.0000	0.5000

A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Fused Deposition Modeling (FDM)

Fonte: O Autor (2019).

Por fim, com relação ao Especialista, para execução/avaliação do modelo, o especialista, optou por utilizar um cenário em que havia trabalhado/finalizado na semana em que a avaliação do artefato desta pesquisa estava agendada. O cenário era uma impressora de Tecnologia MJ utilizada em uma indústria do setor metalúrgico com a necessidade de fabricação de 4 modelos similares de protótipos para visualização de *design* e geometria. Sendo os componentes manufaturados com o material polímero. Como requisitos, especificou-se um acabamento superficial e valor acessível, ou seja, características do equipamento vinculadas ao critério competitivo qualidade e custo. O Quadro 30 exhibe as utilidades encontradas com base no ordenamento dos cartões efetuado pelo Especialista.

Quadro 30 – Utilidade - Especialista

Critério Competitivo	Utilidade
	Especialista
Custo	3,0000
Flexibilidade	1,0000
Qualidade	5,0000
Velocidade	1,0000

Fonte: O Autor (2019).

Conforme observado, o critério de maior importância foi a qualidade seguido de custo. Estando este resultado alinhado com a situação informada, visto que os requisitos informados foram custo acessível e acabamento superficial. Por fim, o valor do Tau de Kendall foi de 0,873 (Sig. 0,001), utilizando como base um nível de significância de inferior a 0,050, os valores encontrados comprovam a confiabilidade e validade interna da pesquisa. O Quadro 31 exibe a indicação do Artefato para a situação do Especialista.

Quadro 31 - Resultado artefato – Especialista

MODELO DE APOIO À DECISÃO PARA SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA EM SISTEMAS PRODUTIVOS				
Informe o material a ser utilizado:				
Polímero				
Informe a Utilidade obtida para cada um dos atributos e seus níveis:				
	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
Alto	4.5000	1.5000	7.5000	1.5000
Médio	3.0000	1.0000	5.0000	1.0000
Baixo	1.5000	0.5000	2.5000	0.5000

A Tecnologia de Manufatura Aditiva (AM) recomendada para o Sistema Produtivo é:

Fused Deposition Modeling (FDM)

Fonte: O Autor (2019).

Na próxima seção, apresenta-se a discussão dos resultados.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são debatidos os resultados obtidos com esta pesquisa. Sendo apresentados em três etapas, a primeira trata dos resultados do decisor, a segunda do fornecedor e a terceira do especialista. Adicionalmente, esta seção refere-se à execução do objetivo geral.

Conforme demonstrado no Capítulo 5, para o Entrevistado 1, o Artefato recomendou a Tecnologia *Material Jetting* (MJ). Contudo, na entrevista, o mesmo informou que a tecnologia FDM foi adquirida pela empresa. Possíveis hipóteses para essa diferença são: desconhecimento da tecnologia MJ, critérios priorizados, forma de busca, custo e assistência técnica.

Quanto ao conhecimento sobre a tecnologia MJ, em novo contato, o Entrevistado 1 afirmou não possuir conhecimento sobre essa tecnologia. Porém, analisando os produtos finais produzidos pela empresa, destaca-se a aplicabilidade dessa tecnologia na situação existente. Esse ponto contribuiu para mostrar a influência que o fornecedor teve sobre o processo de aquisição, visto que o Entrevistado 1 realizou poucas pesquisas sobre as tecnologias de AM existentes no mercado. Adicionalmente, ilustra também, as vantagens existentes e subjetivas que um determinado fornecedor possui ao estar trabalhando com a empresa ou ao introduzir a ideia para determinada empresa.

Com relação ao fornecedor, não se pode afirmar que o mesmo não apresentou outras tecnologias por não ser vendedor das mesmas. Todavia, destaca-se um trecho da entrevista que ilustra o nível de influência do fornecedor da empresa sobre o processo de aquisição do equipamento:

“(...) essa empresa que entrou em contato com a gente para oferecer essa solução já veio com uma proposta bem em conta para nós. Então, isso facilitou também esse processo de aquisição, é uma máquina relativamente barata para o retorno que a gente tem como ela.”

Com relação aos critérios competitivos priorizados, conforme apresentado anteriormente durante o processo de tomada de decisão, priorizou-se o critério velocidade devido às necessidades do setor em que o entrevistado atuava, razão pela qual obteve uma utilidade expressiva neste critério. Adicionalmente, o custo era uma variável considerada pela empresa em todas as aquisições, razão pela qual, obteve uma utilidade positiva, porém, baixa. Ao efetuar a análise do banco de dados do

Artefato, verifica-se que dentre as tecnologias que trabalham com o material indicado, a MJ é a que possui a maior velocidade e valor de aquisição intermediário. Ou seja, com base nas utilidades e características das tecnologias, o Artefato está indicando a que melhor se adequa às características priorizadas.

Quanto ao fator custo, conforme dito na entrevista, foram feitas pesquisas superficiais sobre outras impressoras, porém, como tinham um valor de aquisição maior, não foram consultadas/detalhadas. Acerca desse assunto, segue trecho da entrevista: “(...) *Sim, foi avaliado, mas pela questão de custo a gente acabou não aprofundando esta análise (...) então a gente fechou com o mais barato.*”. Esse fato também contribuiu para ilustrar a preferência/influência que o fornecedor teve durante o processo de tomada de decisão, visto que foi o único contatado.

Por fim, devido ao fato de assistência técnica ser próxima e o testes terem sido aceitos, o Entrevistado 1/Empresa optaram por adquirir a Tecnologia FDM. Trecho da fala do entrevistado que subsidia a discussão: “(...) *então a questão da assistência técnica ser próxima foi determinante também.*”.

Quanto ao Entrevistado 2, o modelo recomendou a *Tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM)*. Após o processo de tomada de decisão, a empresa/Entrevistado 2 optaram pela Tecnologia FDM, a mesma indicada pelo Artefato. Fatores que contribuíram: conhecimento da tecnologia, critérios priorizados, comparação entre as tecnologias (tradicional x aditiva) e assistência técnica.

Diferentemente do Entrevistado 1, o Entrevistado 2/Empresa, efetuaram diversas pesquisas sobre a tecnologia de AM que estavam orçando. Esse *know how* sobre o equipamento contribuiu no processo de tomada de decisão quanto à aquisição do equipamento. Sendo essa questão ilustrada no seguinte trecho da entrevista: “*Pesquisamos os prós e os contras dessa nova tecnologia, pois em nossa área na Europa é comum o uso dessa tecnologia.*”.

Adicionalmente, a empresa/Entrevistado 2 efetuaram análises comparativas entre as tecnologias de Manufatura Aditivas e as tradicionais. Salienta-se que para a aplicação da empresa, concluíram que devido ao valor de aquisição, tempo e processo de fabricação, deveriam optar por uma Tecnologia Aditiva. Esse fato trata principalmente de “protótipos”, visto que, na área ortopédica “cada caso é um caso”. Nas palavras do Entrevistado 2: “*Comparamos com a manufatura padrão com a Manufatura Aditiva e chegamos a uma conclusão que o preço e tempo de fabricação e o processo de cada dispositivo seria menor que a forma padrão de fabricação.*”.

Outro ponto que merece destaque, conforme evidenciado na análise conjunta, é que o critério competitivo qualidade foi valorizado pelo Entrevistado 2. Uma das razões se deve ao fato de atuar na área ortopédica, onde, é importante que haja precisão em detrimento de velocidade, por exemplo. Esse quesito pode ser evidenciado em diversos trechos da entrevista, como por exemplo: “*Qualidade, porque trabalhamos na área médica e todos os protótipos tem que ser fabricados o mais próximo preciso do real.*”. Adicionalmente, ao analisar o banco de dados, a tecnologia que possui a maior precisão (contempla critério competitivo qualidade) é a FDM.

Por fim, cabe destacar três aspectos. i) Assim como no Entrevistado 1, o Entrevistado 2, tratou basicamente com um fornecedor/vendedor parceiro. Porém, diferentemente do Entrevistado 1, realizou pesquisas sobre a tecnologia de AM que estava em processo de aquisição. ii) Ambos os entrevistados destacaram o fato de assistência técnica estar próxima. iii) Ambos responderam de que não sentiram muita falta de possuir uma ferramenta para apoiar a tomada de decisão quanto à seleção de tecnologias de AM, sendo as informações oriundas do fornecedor suficientes. Entretanto, conforme evidenciado, é importante possuir outras formas de informação para apoiar a escolha. Evitando-se assim, a aquisição de uma tecnologia aplicável a situação, porém não a mais recomendada (caso do Entrevistado 1), ou ainda, pesquisas sobre tecnologias de AM em fontes não confiáveis (eventualmente, pode ter ocorrido no caso do Entrevistado 2). Além disso, a indicação para o Entrevistado 1, evidencia o potencial do modelo em indicar resultados diferentes da percepção do tomador de decisão.

Com relação ao Fornecedor, o Artefato recomendou a Tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM). Não obstante, o mesmo informou que a Tecnologia *Material Jetting* (MJ) estava sendo considerada para a situação ilustrada. Segue análise do Fornecedor em resposta ao resultado encontrado:

- as peças produzidas com a tecnologia FDM possuem uma maior resistência, sendo recomendada para situações em que os protótipos/componentes manufaturados serão submetidos a testes funcionais;
- a tecnologia MJ possui qualidade de superfície superior;
- a tecnologia FDM pode ser empregada na situação exposta.

Para a situação hipotética testada, onde, deseja-se validar *design* e visual, ambas as tecnologias poderiam ser utilizadas, conforme afirmado pelo Fornecedor.

Entretanto, é necessário que seja definido quais das características do equipamento em questão seriam mais relevantes para esta aplicação – qualidade de superfície superior ou maior resistência dos componentes. Por se tratar de uma situação hipotética, o Fornecedor não definiu previamente se seria necessário ou não a realização de testes funcionais (maior resistência) ou apenas superfície com acabamento superior, sendo assim, a indicação do artefato poderia ou não estar de acordo com o esperado.

Com relação à qualidade de superfície superior da tecnologia MJ, esse dado está compatível com a informação constante no banco de dados desta pesquisa. Isso, contribui para evidenciar a acuracidade das informações coletadas na revisão da literatura, visto que, esse critério, foi embazado exclusivamente pelas informações obtidas através dos artigos acadêmicos.

Por fim, o Fornecedor efetuou alguns comentários gerais sobre o artefato. São eles:

- em cada cenário, há diversas variáveis que estão diretamente ligadas à aplicação. Por isso, não é possível ter uma única resposta que possa ser utilizada em diversos casos;
- informou a falta de algumas classificações nos cartões com relação aos níveis dos critérios competitivos;
- adicionalmente sugeriu que o critério velocidade fosse trabalhado por rendimento. Pois, em algumas tecnologias, a velocidade, durante o processo de impressão, varia não linearmente em relação à velocidade nominal.

O primeiro comentário evidencia a funcionalidade do artefato desenvolvido nesta pesquisa. Visto que o mesmo se adapta aos objetivos do sistema produtivo por meio dos critérios competitivos. E contribui para diminuir as dificuldades existentes quanto à seleção de tecnologias de AM evidenciadas na literatura (RAO; PADMANABHAN, 2007; WING; GORHAM; SNIDERMAN, 2015; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; PARK; TRAN, 2017).

O segundo comentário, com relação à falta de alguns estímulos, deve-se a desvantagem da análise conjunta. Onde é gerada uma grande quantidade de estímulos, aumentando a complexidade do ordenamento (GREEN; SRINIVASAN, 1978). Conforme descrito anteriormente, para solucionar esse problema, obteve-se a matriz ortogonal que apresenta as combinações suficientes para analisar os

efeitos/utilidades para cada nível dos perfis/fatores (MALHOTRA, 2012; MONTGOMERY, 2012).

Por fim, para o terceiro comentário, quanto à característica velocidade não atuar de maneira linear é pertinente e contribui para incrementar a acuracidade do artefato desenvolvido nesta pesquisa. Ainda assim, o mesmo será sugerido para pesquisas futuras. Dentre as razões, lista-se: i) necessidade de entendimento de todas as variáveis que atuam nesse critério; ii) será necessário uma maior integração com os fabricantes utilizados no banco de dados; iii) deverá ser avaliado, se há mais critérios que podem sofrer essa variação e que contribuiria para o aumento da precisão do artefato.

Por fim, quanto ao Especialista, o Artefato recomendou a Tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM). Apesar disso, o mesmo informou que a Tecnologia Material *Jetting* (MJ) estava sendo considerada para a situação real explanada. Segue análise do especialista em resposta ao resultado encontrado:

- a tecnologia FDM somente será apresentada ao cliente caso a tecnologia MJ não atenda a variável valor de aquisição;
- neste caso, o cliente está disposto a investir mais para obter um produto que proporcione uma melhor qualidade de superfície.

Para a situação real testada, deseja-se fabricar 4 modelos similares de protótipos para validação de *design* e geometria, ambas as tecnologias poderiam ser utilizadas, conforme afirmado pelo Especialista. Ao analisar o banco de dados e os resultados estatísticos, conclui-se que o artefato está indicando a tecnologia FDM por possuir uma maior precisão em relação à MJ, mesmo a MJ possuindo qualidade de superfície, a diferença em relação à precisão é expressiva. Adicionalmente, conforme banco de dados desta pesquisa, a tecnologia FDM possui um valor de aquisição 10% inferior a tecnologia MJ.

Porém, a situação utilizada pelo Especialista indicou um ponto de melhoria do artefato para trabalhos futuros. Nesse caso, conforme informado, a empresa que estava adquirindo o equipamento tinha uma preferência por uma tecnologia que possibilitasse uma maior qualidade de superfície. Essa característica é atendida pela tecnologia MJ.

Porém, mesmo durante a realização da análise pareada ter sido somada o “+1” devido à existência da qualidade de superfície, essa ação não foi suficiente para

impactar no resultado final. Dessa forma, sugere-se que pesquisas futuras contemplem a identificação do critério de maior importância para o respondente. Recebendo assim, um peso extra que seja capaz de influenciar corretamente a indicação final do modelo. Desta forma, o modelo terá capacidade de, por exemplo, indicar uma tecnologia de Manufatura Aditiva que possua qualidade de superfície em detrimento de precisão – se assim, o decisor necessitar.

Por fim, conclui-se que a indicação do artefato está correta sob o ponto de vista técnico. Entretanto, nesse caso, o cliente deseja uma qualidade de superfície superior em detrimento de outras características, sendo essa a razão pela qual a tecnologia MJ foi ofertada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral desta pesquisa foi propor um modelo de apoio à tomada de decisão baseado nas características das tecnologias aditivas e nos critérios competitivos para seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva em sistemas produtivos. Para atingir este objetivo, dois objetivos específicos foram traçados.

O primeiro deles foi efetuar uma análise comparativa das tecnologias de AM. Conforme demonstrado no capítulo 1, a falta de padrões de comparação entre as tecnologias de AM, ferramentas de *benchmarking*, falta de experiência por parte das organizações, a diversificação das tecnologias existentes no mercado, dentre outros aspectos, torna o processo de seleção complexo mesmo para usuários experientes. Além da importância para a organização investir na correta tecnologia para manter sua prosperidade e competitividade (BACON, 1992; MATHIAS; WILLIAMS, 2014), as características distintas, fazem com que seja necessário lidar com conflitos de escolha. Diante desse fato, selecionaram-se as 9 tecnologias de AM mais comumente utilizadas na indústria (REDWOOD, 2017) e de destaque na revisão da literatura. Após a definição das tecnologias de AM englobadas foram coletadas informações técnicas de diversos fabricantes de cada uma das tecnologias de AM e os dados cruzados com os levantados na revisão da literatura. Em paralelo, as características técnicas foram relacionadas com os critérios competitivos, sendo que essa relação foi validada por especialista da área. Com as demandas técnicas atendidas, executou-se a análise comparativa utilizando o AHP, estruturando assim, uma base de dados.

Com a base de dados estruturada, o segundo objetivo específico foi desenvolvido, ou seja, construir uma ferramenta computacional para a seleção da tecnologia de AM apoiando a seleção dos decisores. Para a construção, utilizaram-se duas técnicas estatísticas em conjunto, AHP e Análise Conjunta, onde, a AHP foi utilizada para obtenção dos vetores prioridades e a análise conjunta para obtenção das utilidades, a partir do ordenamento dos cartões (estímulos). Com o cruzamento dessas informações e a especificação do material a ser utilizado, então a ferramenta apresenta a tecnologia mais recomendada para o sistema produtivo em questão, atendendo assim, o objetivo geral desta pesquisa.

Após a construção do artefato, o mesmo foi avaliado sob três óticas: decisor, fornecedor e do especialista. Para o quesito decisor, o artefato foi avaliado em duas situações distintas, para o Entrevistado 2, a indicação foi conforme a tecnologia

adquirida e os critérios que se destacaram foram evidenciados na entrevista. No Entrevistado 1, a indicação foi diferente da tecnologia adquirida, contudo, conforme evidenciado na entrevista, a tecnologia indicada estava alinhada com os critérios destacados na entrevista. Onde, concluiu-se, que o artefato estava correto, porém, dentre as razões destacadas anteriormente, destaca-se a eventual interferência do fornecedor/vendedor e a falta de pesquisa por parte da organização/Entrevistado 1. E, tanto sob a ótica do Fornecedor e do Especialista, o artefato indicou a tecnologia aplicável à situação em questão. Com base nos comentários finais do Fornecedor e Especialista foram gerados dois trabalhos para pesquisas futuras a serem explanados no final desta seção.

A pesquisa gerou outras contribuições para o meio acadêmico e/ou empresarial. A primeira contribuição refere-se à redução do *gap* existente na literatura e nas organizações quanto à comparabilidade entre as tecnologias e pesquisas na área de seleção de tecnologias aditivas. Conforme evidenciado, essa falta de informação dificulta o processo de seleção nas organizações (RAO; PADMANABHAN, 2007; GOKULDOSS; KOLLA; ECKERT, 2017; PARK; TRAN, 2017). Adicionalmente, o conjunto de especificações e diretrizes reunidas, também contribuiu para o aumento de informações técnicas disponíveis para a comunidade científica. Além disso, este modelo tem condições de capturar a estrutura geral da realidade para assegurar sua utilidade, item importante para a *Design Science Research* conforme Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015).

A segunda contribuição é voltada para as organizações. Esta pesquisa vinculou os critérios competitivos no momento da seleção da tecnologia aditiva, fazendo com que a estratégia da empresa esteja relacionada no momento da tomada de decisão. Sendo assim, as organizações serão capazes de manter ou alcançar vantagens competitivas, considerando uma forma de se diferenciarem dos concorrentes (HUM; LEOW, 1996; MANZINI et al., 2004; SLACK; LEWIS, 2009; THÜRER et al., 2014).

A terceira contribuição se refere à tomada de decisão. O artefato tem como intuito apoiar a tomada de decisão. Como apontado durante esta pesquisa, cada tecnologia de AM apresenta vantagens e desvantagens que podem ser mais ou menos adequadas em função das necessidades do sistema produtivo em análise. E, por meio da priorização dos critérios competitivos, obtém-se uma indicação da tecnologia a ser utilizada, reduzindo assim, os conflitos de escolha entre as características das tecnologias. Conforme Salchev (2016) e Dolan (2008), a tomada

de decisão é um processo complexo e parte das pessoas possui dificuldade para tomar decisões quando há *tradeoffs*.

A quarta contribuição se refere aos impactos de uma má aquisição. Ao utilizar o artefato, elimina-se o risco de efetuar uma aquisição erroneamente. Evitando-se assim, a perda de produtividade, o aumento do tempo de processo, a qualidade, o custo de reinvestimento, o não atendimento das exigências de mercado, entre outras perdas citadas por Goldberg (2016) e Mcknight (2016).

Além das contribuições, a dissertação também apresentou limitações. A primeira limitação foi a não consideração das especificações técnicas dos materiais. Cada material possui especificações distintas, tais como, dureza, flexibilidade, ductibilidade, resistência à tensão, abrasão, altas temperaturas, entre outras características. Porém, conforme avaliado, não impactou no resultado final. Contudo, a adição dessas informações em pesquisas futuras contribuirá para aumentar a acuracidade do artefato.

A segunda limitação refere-se aos custos de manutenção e operação. Esta pesquisa delimitou que não faria parte do escopo, devido ao pressuposto de que as organizações executam esta análise naturalmente antes da aquisição. Todavia, incluir essas variáveis em pesquisas futuras, contribuirá para o aumento da acuracidade quanto às necessidades da organização no momento da seleção.

Para superar as limitações apresentadas, o pesquisador sugere a realização de dois trabalhos futuros. O primeiro refere-se a uma pesquisa adicional sobre as matérias-primas utilizadas pelas Tecnologias de Manufatura Aditiva, onde, dentre outros resultados, obtém-se um banco de dados detalhado para ser utilizado em conjunto com este trabalho. Para o segundo, a pesquisa deverá buscar quantificar os custos de manutenção e operação das tecnologias de AM e, posteriormente, buscar formas de integrar a esse artefato, aumentando assim, sua acuracidade e nível de detalhamento.

Adicionalmente, com base nas avaliações executadas em conjunto com o Fornecedor e o Especialista, levantaram-se duas hipóteses de trabalhos futuros. A primeira oportunidade de trabalho refere-se à utilização das características das impressoras. Conforme afirmado pelo Fornecedor, tomando como exemplo o critério velocidade, sugeriu-se que o mesmo fosse trabalhado por rendimento. Isso se deve ao fato de que algumas tecnologias não possuíam um rendimento linear durante o processo de impressão. Devido à isso, sugere-se que uma pesquisa futura, analise os

critérios empregados nesse artefato sob esta ótica, para assim, complementar e, se necessário, incrementar as informações do banco de dados. Contribuindo para o aumento da acuracidade de seleção do artefato.

A segunda hipótese se refere à importância das características das impressoras. Por exemplo, esta pesquisa definiu que caso houvesse qualidade de superfície, seria somado “+1” na nota atribuída na análise pareada. Contudo, conforme evidenciado na situação do Especialista, esse critério teve um peso maior no momento da tomada de decisão pelo cliente final. Dessa forma, sugere-se que um trabalho futuro, analisando e complementando esta pesquisa quanto à quantificação de determinados critérios “chave” para as organizações. Ampliando assim, o peso dado a determinados critérios a serem identificados e também contribuindo para incremento da acuracidade do artefato.

Por fim, entende-se que esta pesquisa abre oportunidades para outros estudos que se refiram à proposição de modelo de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva. Adicionalmente, o trabalho oferece a possibilidade para que novas pesquisas avaliem outros critérios competitivos e/ou de seleção na área dos sistemas produtivos. Destaca-se também, a fácil aplicabilidade do artefato proposto nas organizações e a generalização da forma construtiva do modelo para aplicação em outras situações de escolhas/*tradeoffs*.

REFERÊNCIAS

3D HUBS. **What is 3D Printing?** Disponível em: <<https://www.3dhubs.com/what-is-3d-printing>>. Acesso em: 2 out. 2017.

3D INSIDER. **The 9 Different Types of 3D Printers.** Disponível em: <<https://3dinsider.com/3d-printer-types/>>. Acesso em: 21 jul. 2018.

A. CHENNAKESAVA REDDY; V.M. SHAMRAJ. Reduction of cracks in the cylinder liners choosing right process variables by Taguchi method. **Foundry Magazine**, v. 10, n. 4, p. 47–50, 1998. Disponível em: <www.foundrymagazineindia.com>.

A third industrial revolution. Disponível em: <<http://www.economist.com/node/21552901>>. Acesso em: 2 out. 2017.

ABEDI, G.; ABEDINI, E. Prioritizing of marketing mix elements effects on patients tendency to the hospital using analytic hierarchy process. **International Journal of Healthcare Management**, v. 10, n. 1, p. 34–41, 2017.

ACOSTA, L. A.; ENANO, N. H.; MAGCALE-MACANDOG, D. B.; ENGAY, K. G.; HERRERA, M. N. Q.; NICOPOR, O. B. S.; SUMILANG, M. I. V.; EUGENIO, J. M. A.; LUCHT, W. How sustainable is bioenergy production in the Philippines? A conjoint analysis of knowledge and opinions of people with different typologies. **Applied Energy**, v. 102, p. 241–253, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.063>>.

ADDITIVELY. **Binder Jetting (BJ).** Disponível em: <<https://www.additively.com/en/learn-about/binder-jetting#read-advantages>>. Acesso em: 13 dez. 2017a.

ADDITIVELY. **Electrom Beam Melting (EBM).** Disponível em: <<https://www.additively.com/en/learn-about/electron-beam-melting#read-advantages>>. Acesso em: 13 dez. 2017b.

ADDITIVELY. **Material Jetting (MJ).** Disponível em: <<https://www.additively.com/en/learn-about/material-jetting#read-advantages>>. Acesso em: 13 dez. 2017c.

ADDITIVELY. **Laser Melting (LM).** Disponível em: <<https://www.additively.com/en/learn-about/laser-melting#read-advantages>>. Acesso em: 13 dez. 2017d.

ANTUNES, J.; ALVAREZ, R.; KLIPPEL, M.; BORTOLOTTI, P.; PELLEGRIN,

I. de. **Sistemas de Produção: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ASHOUR POUR, M.; ZANONI, S.; BACCHETTI, A.; ZANARDINI, M.; PERONA, M. Additive manufacturing impacts on a two-level supply chain. **International Journal of Systems Science: Operations & Logistics**, v. 2674, n. June, p. 1–14, 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23302674.2017.1340985>>.

ASPINALL, P. A.; HILL, A. R.; NELSON, P.; O'BRIEN, C.; O'CONNELL, E.; MCCLOUGHAN, L.; AZUARA-BLANCO, A.; BRICE, R.; GREEN, S.; STEEDS, C. Quality of Life in Patients with Glaucoma: A Conjoint Analysis Approach. **Visual Impairment Research**, v. 7, n. 1, p. 13–26, 2005.

ATWATER, C.; GOPALAN, R.; LANCIONI, R.; HUNT, J. Measuring supply chain risk: Predicting motor carriers' ability to withstand disruptive environmental change using conjoint analysis. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 48, p. 360–378, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2014.09.009>>.

AZO MATERIALS. **Rapid Prototyping - Laminated Object Modelling and Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials**. Disponível em: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1650>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

BACON, J. C. The Use of Decision Criteria in Selecting Information Systems Technology Investments. **MIS Quarterly**, v. September, n. September, p. 335–353, 1992.

BAGLYAS, F. Conjoint Analysis in New Wine Product Development. **International Journal of Engineering**, v. 4, n. XI, p. 163–167, 2013.

BALANA, B. B.; YATICH, T.; MÄKELÄ, M. A conjoint analysis of landholder preferences for reward-based land-management contracts in Kapingazi watershed, Eastern Mount Kenya. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 10, p. 2634–2646, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.001>>.

BANERJEE, S.; AGARWAL, N. Cluster and Conjoint Analysis of the Entry Level Brands in Casual Wear Market in India w.r.t. Product Attributes. **Journal of Marketing & Communication**, v. 9, n. 1, p. 44–51, 2013.

BAUMERS, M.; DICKENS, P.; TUCK, C.; HAGUE, R. The cost of additive manufacturing: Machine productivity, economies of scale and technology-push. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 193–201, 2016.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>>.

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. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0008125617695284>>.

BERMAN, B. 3-D printing: The new industrial revolution. **Business Horizons**, v. 55, n. 2, p. 155–162, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>>.

BHASKARAN, S. R.; RAMACHANDRAN, K. Managing technology selection and development risk in competitive environments. **Production and Operations Management**, v. 20, n. 4, p. 541–555, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-79960136170&partnerID=40&md5=f83eff101f0da5b93a154eb3546b2351>>.

BIKAS, H.; STAVROPOULOS, P.; CHRYSSOLOURIS, G. Additive Manufacturing Methods and Modelling Approaches: A Critical Review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 83, n. 1–4, p. 389–405, 2016.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

BOCKLUND, L.; HINTON, B.; MOREY, M. Optimizing Technology Selection. **Pipeline Articles**, p. 1–7, 2011. Disponível em: <<http://www.contactcenterpipeline.com/CcpViewIndex.aspx?PubType=2>>.

BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M.; BIZUP, J.; FITZGERALD, W. T. **The Craft of Research**. Fourth Ed. ed. [s.l.] University of Chicago Press, 2016. v. 422

BORENSTEIN, D.; BETENCOURT, P. R. B. A multi-criteria model for the justification of IT investments. **INFOR: Information Systems and Operational Research**, v. 43, n. 1, p. 1–21, 2005.

BOTT, R. Competitive Capabilities among Manufacturing Plants in Developing, Emerging and Industrialized Countries: A Comparative Analysis. **Igarss 2014**, v. 43, n. 1, p. 1–5, 2014.

BOURHIS, F. Le; KERBRAT, O.; HASCOET, J.-Y.; MOGNOL, P. Sustainable Manufacturing: Evaluation and Modeling of Environmental Impacts in Additive Manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 69, n. 9–12, p. 1927–1939, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-013-5151-2>>.

BRIDGES, J. F. P.; DONG, L.; GALLEGO, G.; BLAUVELT, B. M.; JOY, S. M.; PAWLIK, T. M. Prioritizing strategies for comprehensive liver cancer control in Asia: A conjoint analysis. **BMC Health Services Research**, v. 12, n. 1, 2012.

BRUNELLO, G.; SIVOLELLA, S.; MENEGHELLO, R.; FERRONI, L.; GARDIN, C.; PIATTELLI, A.; ZAVAN, B.; BRESSAN, E. **Powder-Based 3D Printing for Bone Tissue Engineering** *Biotechnology Advances* Elsevier Inc., , 2016. . Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2016.03.009>>.

BUSTAMENTE, L. M. G.; DUARTE, R. N.; ALMEIDA, D. A. de. Proposta de Seleção de Fornecedores para Indústria de Autopeças Baseado na Aplicação do BOCR. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 1–14, 2010.

ÇAĞDAŞ, V.; STUBKJÆR, E. Design research for cadastral systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 35, n. 1, p. 77–87, 2011.

CARROLL, N. V; GAGON, J. P. Identifying consumer segments in health services markets: an application of conjoint and cluster analyses to the ambulatory care pharmacy market. **Journal of health care marketing**, v. 3, n. 3, p. 22–34, 1983.

CERDAS, F.; JURASCHEK, M.; THIEDE, S.; HERRMANN, C. Life Cycle Assessment of 3D Printed Products in a Distributed Manufacturing System. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. S80–S93, 2017.

CHAN, F. T. S.; CHAN, H. K.; CHAN, M. H.; HUMPHREYS, P. K. An integrated fuzzy approach for the selection of manufacturing technologies. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 27, n. 7–8, p. 747–758, 2006.

CHEE, K. L. Empirical comparison of AHP and conjoint analysis on training attributes in the gaming industry in Macau SAR. **Conference proceedings of the international conference on gaming industry and public welfare**, 2004.

CHEN, L.; HE, Y.; YANG, Y.; NIU, S.; REN, H. The research status and development trend of additive manufacturing technology. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 89, n. 9–12, p. 3651–3660, 24 abr. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-9335-4>>.

CHIRUMALLA, K. Managing product introduction projects in operations key challenges in heavy-duty vehicle industry. **Journal of Modern Project Management**, v. 5, n. 3, p. 108–118, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041014343&doi=10.19255%2FJMPM01512&partnerID=40&md5=a6ff5309d355faafab35d7f7aed01dfb>>.

CHUA, C. K.; LEONG, K. F. **3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications** Fifth Edition of Rapid Prototyping. 5. ed. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2016.

CHUANG, M.; YANG, Y. S.; LIN, C. T. Production technology selection: Deploying market requirements, competitive and operational strategies, and manufacturing attributes. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 22, n. 4, p. 345–355, 2009.

CHUNG, H. S.; HONG, H. Do; KIM, K.; CHO, C. W.; MOSKOWITZ, H. R.; LEE, S. Y. Consumer Attitudes And Expectations Of Ginseng Food Products Assessed By Focus Groups And Conjoint Analysis. **Journal of Sensory Studies**, v. 26, n. 5, p. 346–357, 2011.

COBB, B. D.; CLARKSON, J. M. A simple procedure for optimising the polymerase chain reaction (PCR) using modified Taguchi methods. **Nucleic acids research**, v. 22, n. 18, p. 3801–5, 1994. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7937094>%5Cn<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC308365>>.

COCHET, P. **From Assembly Line To Digital Thread: The Factory Of The Future Is Here, And It's Here To Stay**. Disponível em: <<https://www.ge.com/reports/assembly-line-digital-thread-factory-future-stay/>>. Acesso em: 1 out. 2017.

COHEN, D.; GEORGE, K.; SHAW, C. Are you ready for 3-D printing? **McKinsey Quarterly**, n. 4, p. 20–23, 2014.

COLLAINE, A.; LUTZ, P.; LESAGE, J. J. A method for assessing the impact of product development on the company. **International Journal of Production Research**, v. 40, n. 14, p. 3311–3336, 2002.

CRUMP, S. **Manufatura Aditiva: 20 anos de evolução na indústria**. Disponível em: <<http://www.cadxpert.com.br/ideias/manufatura-aditiva-20-anos-de-evolucao-naindustria/>>. Acesso em: 9 jul. 2017.

D'AVENI, R. 3-D Printing Will Change the World. **Harvard Business Review**, p. Non-Paged, 2013. Disponível em: <<https://hbr.org/2013/03/3-d-printing-will-change-the-world>>.

DELGADO, J. .; BLASCO, J. R. .; PORTOLES, L. .; FERRIS, J. .; HURTOS, E. .; ATORRASAGASTI, G. . Fabio Project: Development of Innovative Customized Medical Devices Through New Biomaterials and Additive Manufacturing Technologies.

Annals of DAAAM & Proceedings, v. 21, n. 1, p. 1541–1543, 2010.

DIAS, M.; FENSTERSEIFER, J. Critérios Competitivos de Operações Agroindustriais: Um Estudo de Caso no Setor Arrozeiro. **Revista Eletrônica da Administração**, v. 11, n. 3, p. 1–28, 2005.

DIGITAL CLARITY GROUP. 8 Steps to Selecting the Right Fit Technology and Implementation Partner. **Digital Clarity Group**, 2016. Disponível em: <<http://www.digitalclaritygroup.com/8-step-technology-implementation-partner-selection-tool/>>.

DING, D.; PAN, Z.; CUIURI, D.; LI, H. Wire-feed Additive Manufacturing of Metal Components: Technologies, Developments and Future Interests. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 1–4, p. 465–481, 2015.

DOLAN, J. G. Shared decision-making - transferring research into practice: The Analytic Hierarchy Process (AHP). **Patient Education and Counseling**, v. 73, n. 3, p. 418–425, 2008.

DONG, Y.; XU, Y.; LI, H.; DAI, M. A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 186, n. 1, p. 229–242, 2008.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design Science Research**. Cham: Springer International Publishing, 2015.

ENGINEERS., I. of E. and E. Overview on Additive Manufacturing Technologies. **Proceedings of the IEEE**, v. 105, n. 4, p. 593–612, 2017.

ERNST & YOUNG GMBH (EY). How Will 3D Printing Make Your Company the Strongest Link in the Value Chain? - EY's Global 3D printing Report 2016. **Ernst & Young Gmbh**, p. 1–26, 2016.

EXONE. **What is Binder Jetting?** Disponível em: <<http://www.exone.com/Resources/Technology-Overview/What-is-Binder-Jetting>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

FARAHYAN, L.; KAPTAN, S. S.; JADHAVAR, S. U. An Exploratory Study Of Fast Food Restaurant Selection Criteria Amongst College Students Through Conjoint Analysis. **Journal of Commerce and Management Thought**, v. 6, n. 3, p. 487, 2015. Disponível em: <<http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:jcmt&volume=6&issue=3&article=007>>.

FARLEY, K.; THOMPSON, C.; HANBURY, A.; CHAMBERS, D. Exploring the

feasibility of Conjoint Analysis as a tool for prioritizing innovations for implementation. **Implementation Science**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2013.

FATEMI, A.; MOLAEI, R.; SHARIFIMEHR, S.; PHAN, N.; SHAMSAEI, N. Multiaxial Fatigue Behavior of Wrought and Additive Manufactured Ti-6Al-4V Including Surface Finish Effect. **International Journal of Fatigue**, v. 100, p. 347–366, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.03.044>>.

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.

FORNI, A. A.; VAN DER MEULEN, R. **Gartner Says Worldwide Shipments of 3D Printers to Grow 108.** Disponível em: <<http://www.gartner.com/newsroom/id/3476317>>. Acesso em: 1 out. 2017.

FRAZIER, W. E. Metal Additive Manufacturing: A Review. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 23, n. 6, p. 1917–1928, 2014.

FRUTOS, G. M. de. **Product development process for additive manufacturing Considerations on the design of final products for 3D printing.** 2015. Técnico Lisboa, 2015.

GALBRAITH, J.; DOWNEY, D.; KATES, A. **Livro Projeto de Organizações Dinâmicas.** 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

GAO, S.; SMITS, M.; WANG, C. A conjoint analysis of corporate preferences for the sectoral crediting mechanism: A case study of Shanxi Province in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 259–269, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.038>>.

GARDINER, G. 3D Printing : Niche or next step to manufacturing 3D Printing: Niche or next step to manufacturing on demand? **Composites Technology**, v. 1, n. 5, p. 42–47, 2015.

GMBH, F. P. **Electron Beam Melting (EBM) - Metal 3D Printing.** Disponível em: <http://www.fit-prototyping.de/electron_beam_melting.php?language=2>. Acesso em: 13 dez. 2017.

GODOI, F. C.; PRAKASH, S.; BHANDARI, B. R. 3D Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects. **Journal of Food Engineering**, v. 179,

p. 44–54, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>>.

GÖKKUŞ, Ö.; YILDIZ, N.; KOPARAL, A. S.; YILDIZ, Y. Ş. Evaluation of the effect of oxygen on electro-Fenton treatment performance for real textile wastewater using the Taguchi approach. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p. 449–460, 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13762-017-1404-1>>.

GOKULDOSS, P. K.; KOLLA, S.; ECKERT, J. Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting — Selection Guidelines. **Materials**, v. 10, n. 6, p. 1–12, 2017.

GOLDBERG, B. **75% Of Employers Have Hired the Wrong Person, Here's How to Prevent That**. Disponível em: <<https://resources.careerbuilder.com/news-research/prevent-hiring-the-wrong-person>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

GONZALEZ, J. A.; MIRELES, J.; LIN, Y.; WICKER, R. B. Characterization of Ceramic Components Fabricated using Binder Jetting Additive Manufacturing Technology. **Ceramics International**, v. 42, n. 9, p. 10559–10564, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.079>>.

GREEN, P. E.; DESARBO, W. S. Additive Decomposition of Perceptions Data Via Conjoint Analysis. **Journal of Consumer Research**, v. 5, n. 1, p. 58–65, 1978.

GREEN, P. E.; SRINIVASAN, V. Conjoint analysis in consumer research: Issues and outlook. v. 5, n. 2, p. 103–123, 1978.

GREEN, P. E.; WIND, Y. A New Way to Measure Consumers' Judgments. **Harvard Business Review**, v. 75404, n. April, p. 106–117, 1975.

GROSS, B. C.; ERKAL, J. L.; LOCKWOOD, S. Y.; CHEN, C.; SPENCE, D. M. Evaluation of 3D Printing and Its Potential Impact on Biotechnology and the Chemical Sciences. 2014.

GRYNOL, B. Disruptive manufacturing - The effects of 3D printing. **Deloitte**, p. 20, 2012.

GULBRANDSEN, M.; KYVIK, S. Are the concepts basic research, applied research and experimental development still useful? An empirical investigation among Norwegian academics. **Science and Public Policy**, v. 37, n. 5, p. 343–353, 2010. Disponível em: <<http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0302-3427&volume=37&issue=5&spage=343>>.

HAIR, J. F.; BLACK, B.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Multivariate Data Analysis**. 6° ed. [s.l.] Pearson, 2006.

HAIR, J.; RABIN, B.; MONEY, A.; SAMOUEL, P. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HAMPSON, L. A.; ALLEN, I. E.; GAITHER, T. W.; LIN, T.; TING, J.; OSTERBERG, E. C.; WILSON, L.; BREYER, B. N. Patient-centered Treatment Decisions for Urethral Stricture: Conjoint Analysis Improves Surgical Decision-making. **Urology**, v. 99, p. 246–253, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.urology.2016.07.053>>.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Working Paper A Literature Review. n. 01, p. 16, 2015.

HIEMENZ, J. Electron beam melting. **Advanced Materials and Processes**, v. 165, n. 3, p. 45–46, 2007.

HOLMES, L. R.; RIDDICK, J. C. Research Summary of an Additive Manufacturing Technology for the Fabrication of 3D Composites with Tailored Internal Structure. **JOM - The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)**, v. 66, n. 2, p. 270–274, 2014.

HUANG, S. H.; LIU, P.; MOKASDAR, A.; HOU, L. Additive manufacturing and its societal impact: A literature review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5–8, p. 1191–1203, 2013a.

HUANG, S. H.; LIU, P.; MOKASDAR, A.; HOU, L. Additive Manufacturing and its Societal Impact: A Literature Review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5–8, p. 1191–1203, 2013b.

HUM, S.-H.; LEOW, L.-H. Strategic manufacturing effectiveness - An empirical study based on the Hayes-Wheelwright framework. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 4, p. 4–18, 1996.

IDC - ANALYSE THE FUTURE. **Worldwide Spending on 3D Printing Expected so Surpass \$35 Billion in 2020,0 According to IDC**. Disponível em: <<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41671116>>. Acesso em: 10 out. 2017.

JAIN, V.; SANGAIAH, A. K.; SAKHUJA, S.; THODUKA, N.; AGGARWAL, R. Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. **Neural Computing and Applications**, v. 29, n. 7, p. 1–10, 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.

Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.01.006>>.

JOY, S. M.; BLAUVELT, B. M.; TUNCER, M. A.; BEAUGRAND, M.; SANGRO, B.; COLOMBO, M.; BRIDGES, J. F. P. Stakeholder perspectives on European priorities for comprehensive liver cancer control: A conjoint analysis. **European Journal of Public Health**, v. 23, n. 6, p. 951–957, 2013.

KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach. **Journal of Environmental Management**, v. 128, p. 844–851, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.06.034>>.

KARA, N. Use of Additive Manufacturing Technology in Aviation Industry. **Engineer & the Machinery Magazine**, v. 54, n. 636, p. 70–75, 2013. Disponível em: <AMT 36;>.

KC, B.; FARUK, O.; AGNELLI, J. A. M.; LEO, A. L.; TJONG, J.; SAIN, M. Sisal-glass fiber hybrid biocomposite: Optimization of injection molding parameters using Taguchi method for reducing shrinkage. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 83, p. 152–159, 2016.

KHALEEQ UZ ZAMAN, U.; SIADAT, A.; RIVETTE, M.; BAQAI, A. A.; QIAO, L. Integrated Product-Process Design to Suggest Appropriate Manufacturing Technology: A Review. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 91, n. 1–4, p. 1409–1430, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-9765-z>>.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2014.11.005>>.

KIM, J.; ROOB, D. 3D Printing: A Revolution in the Making. **University of Auckland Business Review**, v. 1, p. 288, 2014. Disponível em: <<https://books.google.com/books?id=9orfngEACAAJ&pgis=1>>.

KIM, S.; LEE, J.; KIM, Y.; HONG, J.; MEMBER, S.; HUR, Y. Optimization for Reduction of Torque Ripple in Interior Permanent Magnet Motor by Using the Taguchi Method. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 41, n. 5, p. 1796–1799, 2005.

KUEI, C.; MADU, C. N. Customer-centric six sigma quality and reliability management. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 20, n. 8, p. 954–964, 2003. Disponível em:

<<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/02656710310493661>>.

KUEI, H.; LIN, C.; AHETO, J.; MADU, C. **A strategic decision model for the selection of advance technology** *International Journal of Production Research*, 1994. .

KUMAR, D.; GARG, C. P. Evaluating sustainable supply chain indicators using fuzzy AHP: Case of Indian automotive industry. **Benchmarking**, v. 24, n. 6, p. 1742–1766, 2017.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. DESIGN SCIENCE RESEARCH: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia. **Gestão Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013.

LECKLIDER, B. 3D Printing Drives Automotive Innovation. **EE: Evaluation Engineering**, p. 16–20, 2017.

LEE, Y.-H. a Fuzzy Analytic Network Process Approach To Determining Prospective Competitive Strategy in China: a Case Study for Multinational Biotech Pharmaceutical Enterprises. **Journal of Business Economics and Management**, v. 13, n. 1, p. 5–28, 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/16111699.2011.620165>>.

LI, L. L. X. Manufacturing capability development in a changing business environment. **Industrial Management & Data Systems**, v. 100, n. 6, p. 261–270, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/02635570010301188>>.

LI, Q.; KUCUKKOC, I.; ZHANG, D. Z. Production Planning in Additive Manufacturing and 3D Printing. **Computers & Operations Research**, v. 83, p. 157–172, 2017. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305054817300138>>.

LINDEMANN, C.; JAHNKE, U.; MOI, M.; KOCH, R. Impact and Influence Factors of Additive Manufacturing on Product Lifecycle Costs. **Proceedings of the 24th Solid Freeform Fabrication Symposium**, p. 998–1009, 2013.

LINDWALL, A.; DORDLOFVA, C.; ÖHRWALL RÖNNBÄCK, A. Additive Manufacturing and the Product Development Process : Insights From the Space. **ICED 2017 conference proceedings**, v. 5, n. August, p. 345–354, 2017.

LIRA, A. C.; GOMES, M.; CAVALCANTI, V. Modelo de alinhamento estratégico de produção – MAP : contribuição teórica para a área de estratégia de produção. **Produção**, v. 25, n. 2, p. 416–427, 2015.

LONIAL, S.; MENEZES, D.; ZAIM, S. Identifying Purchase Driving Attributes

and Market Segments For PCs Using Conjoint and Cluster Analysis. **Journal of Economic and Social Research**, v. 2, n. 2, p. 19–37, 2000.

MAHALIK, D. K.; PATEL, G. Efficiency Measurement Using DEA and AHP : A Case Study on Indian Ports. **IUP Journal of Supply Chain Management**, v. 7, n. 1 & 2, p. 34–48, 2010.

MAHAMOOD, R. M.; AKINLABI, E. T.; SHUKLA, M.; PITYANA, S. Revolutionary Additive Manufacturing: An Overview. **Lasers in Engineering (Old City Publishing)**, v. 27, n. 3/4, p. 161–178, 2014a. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=93983510&lang=pt-br&site=ehost-live>>.

MAHAMOOD, R. M.; AKINLABI, E. T.; SHUKLA, M.; PITYANA, S. Revolutionary Additive Manufacturing: An Overview. **Lasers in Engineering (Old City Publishing)**, v. 27, n. 3/4, p. 161–178, 2014b. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=93983510&lang=pt-br&site=ehost-live>>.

MAHOOTIAN, F.; EASTMAN, T. E. Complementary frameworks of scientific inquiry: Hypothetico-deductive, hypothetico-inductive, and observational-inductive. **World Futures: Journal of General Evolution**, v. 65, n. 1, p. 61–75, 2009.

MAKKAR, S. R.; WILLIAMSON, A.; TURNER, T.; REDMAN, S.; LOUVIERE, J. Using conjoint analysis to develop a system of scoring policymakers' use of research in policy and program development. **Health Research Policy and Systems**, v. 13, n. 1, p. 1–16, 2015.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing - uma orientação aplicada**. 6ª edição ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MALHOTRA, N. K.; JAIN, A. K. A conjoint analysis approach to health care marketing and planning. **Journal of Health Care Marketing**, v. 2, n. 2, p. 35–44, 1982.

MALLADI, A. 3D Metal Printing Technologies: A Review. **IUP Journal of Mechanical Engineering**, v. X, n. 1, p. 48–55, 2017.

MANÇANARES, C. G.; DE S. ZANCUL, E.; CAVALCANTE DA SILVA, J.; CAUCHICK MIGUEL, P. A. Additive Manufacturing Process Selection Based on Parts' Selection Criteria. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 80, n. 5–8, p. 1007–1014, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-015-7092-4>>.

MANZINI, R.; GAMBERI, M.; REGATTIERI, A.; PERSONA, A. Framework for

designing a flexible cellular assembly system. **International Journal of Production Research**, v. 42, n. 17, p. 3505–3528, 2004.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**. 5ª edição ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, F. **A Corrida da Indústria 4.0**. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/09/22/a-corrida-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 1 out. 2017.

MATHIAS, B. D.; WILLIAMS, D. W. The Impact of Role Identities on Entrepreneurs' Evaluation and Selection of Opportunities. **Journal of Management**, v. 43, n. 3, p. 892–918, 2014.

MAZZOLI, A. Selective Laser Sintering in Biomedical Engineering. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 51, n. 3, p. 245–256, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11517-012-1001-x>>.

MCKNIGHT, C. **Step-by-step is the best approach to a successful technology selection**. Disponível em: <<http://www.digitalclaritygroup.com/step-step-best-approach-successful-technology-selection/>>. Acesso em: 31 maio. 2018.

MELLOR, S.; HAO, L.; ZHANG, D. Additive manufacturing: A framework for implementation. **International Journal of Production Economics**, v. 149, p. 194–201, 2014.

MENTZER, J. T.; FLINT, D. J. Validity in logistics research. **Journal Of Business Logistics**, v. 18, n. 1, p. 199–217, 1997.

MEYERDING, S. G. H.; MERZ, N. Consumer Preferences for Organic Labels in Germany Using the Example of Apples – Combining Choice-Based Conjoint Analysis and Eye-Tracking Measurements. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 772–783, 2018. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261830266X>>.

MILTENBURG, J. Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. **International Journal of Production Economics**, v. 113, n. 1, p. 307–323, 2008.

MISHRA, S. Helping additive manufacturing “learn”. **Metal Powder Report**, v. 68, n. 4, p. 38–39, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/S0026->

0657(13)70129-2>.

MOHAGHEGHI, V.; MOHAGHEGHI, V.; VAHDANI, B.; SIADAT, A. A mathematical modeling approach for high and new technology-project portfolio selection under uncertain environments. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 32, n. 6, p. 4069–4079, 2017. Disponível em: <<http://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress&doi=10.3233/JIFS-152510>>.

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. 20–24, 2015. Disponível em: <<http://timreview.ca/article/942>>.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments Eighth Edition**. [s.l: s.n.]v. 2

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Systematic Review of Literature. In: **Design Science Research - A Method for Science and Technology Advancement**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 141–172.

MUDGE, R. R. P.; WALD, N. N. R. Laser engineered net shaping advances additive manufacturing and repair. **Welding Journal-New York-**, v. 86, n. January, p. 44–48, 2007. Disponível em: <<http://files.aws.org/wj/2007/wj0107-44.pdf%5Cnhttp://proxy.lib.ohio-state.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=23731179&site=ehost-live>>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Improving the Environment: An Evaluation of the DOE's Environmental Management Program**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1995.

PALERMO, E. **What is Laminated Object Manufacturing?** C. Disponível em: <<http://www.livescience.com/40310-laminated-object-manufacturing.html>>. Acesso em: 26 fev. 2018.

PARIS, H.; MOKHTARIAN, H.; COATANÉA, E.; MUSEAU, M.; ITUARTE, I. F. Comparative environmental impacts of additive and subtractive manufacturing technologies. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 1, p. 29–32, 2016.

PARK, H.-S.; TRAN, N.-H. A Decision Support System for Selecting Additive Manufacturing Technologies. **Proceedings of the 2017 International Conference on Information System and Data Mining - ICISDM '17**, p. 151–155, 2017. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3077584.3077606>>.

PARK, J.; TARI, M. J.; HAHN, H. T. Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process. **Rapid Prototyping Journal**, v. 6, n. 1, p. 36–50, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/13552540010309868>>.

PARK, R. **New Additive Manufacturing Processes Continue to Emerge**. Disponível em: <<http://www.disruptivemagazine.com/features/new-additive-manufacturing-processes-continue-emerge>>. Acesso em: 1 out. 2017.

PELESHENKO, S.; KORZHYK, V.; VOITENKO, O.; KHASKIN, V.; TKACHUK, V. Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review). **Eastern-European Journal of Enterprise Technologies**, v. 3, n. 1 (87), p. 42–52, 2017. Disponível em: <<http://journals.uran.ua/eejet/article/view/99666>>.

PERSONS, T. 3D Printing: Opportunities, Challenges, and Policy Implications of Additive Manufacturing. **GAO-15-505Sp - Addictive Manufacturing Forum**, n. June, p. 63, 2015. Disponível em: <<http://www.gao.gov/products/GAO-15-505SP>>.

PETCH, M. **Electron Beam Melting is Just as Metal as It Sounds**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/redshift/electron-beam-melting/>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

PIKO, M.; TOROS, J. Use of conjoint analysis to determine the impact of logotype colour, and the type, duration and price of a street performance on consumer purchase decisions. **Journal of Graphic Engineering & Design (JGED)**, v. 8, n. 2, p. 27–35, 2017.

PILIPOVIC, A.; SERCER, M.; STOJANOVIC, I.; BRAJLIH, T.; DRSTVENSEK, I.; VALENTAN, B. Laminate Object Manufacturing Vs. Fused Deposition Modeling - Machine Comparison. **Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium**, v. 22, n. 1, p. 221–222, 2011. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84904325260&partnerID=40&md5=f03c55947ae024c9d133a553cfd4200b>>.

PIRAN, F. S.; LACERDA, D. P.; CAMARGO, L. F. R. **Análise e Gestão da Eficiência**. 1° ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

PÎRJAN, A.; PETROȘANU, D.-M. The impact of 3d printing technology on the society and economy. **Journal of Information Systems and Operations Management.**, v. 7, n. 2, p. 360–370, 2013.

POH, P. S. P.; CHHAYA, M. P.; WUNNER, F. M.; DE-JUAN-PARDO, E. M.; SCHILLING, A. F.; SCHANTZ, J. T.; VAN GRIENSVEN, M.; HUTMACHER, D. W.

Polyactides in Additive Biomanufacturing. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 228–246, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2016.07.006>>.

POPOVIC, M.; KUZMANOVIC, M.; MARTIC, M. Using conjoint analysis to elicit employers' preferences toward key competencies for a business manager position. **Management - Journal for theory and practice of management**, v. 17, n. 63, p. 17–26, 2012.

PUCCI, J. U.; CHRISTOPHE, B. R.; SISTI, J. A.; CONNOLLY, E. S. **Three-dimensional Printing: Technologies, Applications, and Limitations in Neurosurgery** *Biotechnology Advances* Elsevier, , 2017. . Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.05.007>>.

RAO, R. V.; PADMANABHAN, K. K. Rapid prototyping process selection using graph theory and matrix approach. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 193, n. 1–3, p. 81–88, 2007.

REDWOOD, B. **Additive Manufacturing Technologies: An Overview**. Disponível em: <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/additive-manufacturing-technologies-overview>>. Acesso em: 30 dez. 2018.

REDWOOD, B.; SCHÖFFER, F.; GARRET, B. **The 3D printing handbook : technologies, design and applications**. Amsterdam, The Netherlands: Coers & Roest. Livro eletrônico, não paginado, 2017.

RESEARCH GROUP, J. M. S. **Research Areas Of Julie M. Schoenung Research Group**.

ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, v. 11, n. 5, p. 77–91, 2017.

ROMERO-TORRES, A.; VIERA, D. R. Is 3D Printing Transforming the Project Management Function in the Aerospace Industry? **Journal of Modern Project Management**, v. 4, n. 1, p. 113–119, 2016. Disponível em: <<http://www.journalmodernpm.com/index.php/jmpm/article/view/187>>.

ROMME, a. Making a Difference: Organization as Design. **Organization Science**, v. 14, n. 5, p. 558–573, 2003. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/orsc.14.5.558.16769>>.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. Additive Manufacturing : Opportunities and Constraints. **Royal Academy of Engineering**, n. May 2013, p. 21, 2013. Disponível em: <<http://www.raeng.org.uk/publications/reports/additive-manufacturing>>.

RUI, Y.; GANG, X.; SHUANG-SHUANG, M.; HUA-YU, Y.; XIN-TING, S.; WEI, S.; YI-LEI, M. Three-Dimensional Printing: Review of Application in Medicine and Hepatic Surgery. **Cancer Biology & Medicine**, v. 13, n. 4, p. 443, 2016. Disponível em: <<http://www.cancerbiomed.org/index.php/cocr/article/view/980>>.

RÜSSMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0. **The Boston Consulting Group**, p. 1–20, 2015. Disponível em: <https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf>.

RYLANDS, B.; BÖHME, T.; GORKIN, R.; FAN, J.; BIRTCHNELL, T. The adoption process and impact of additive manufacturing on manufacturing systems. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 27, n. 7, p. 969–989, 2016. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/JMTM-12-2015-0117>>.

SAATY, T. L. Priority Setting in Complex Problems. **IEE Transactions on Engineering Management**, v. 30, n. 3, p. 140–155, 1983.

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=17590>>.

SALCHEV, P. Objectification of The Decision-Making in Health Technology Assessment (Multi-criteria approach). **Bulgarian Journal Of Public Health**, v. 8, n. 2, p. 3–30, 2016. Disponível em: <http://ncphp.government.bg/files/projects/BG_JURNAL_PH_2_2016.pdf>.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research Methods for Business Students**. [s.l.: s.n.]

SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J. M. Open-source 3-D Printing Technologies for Education: Bringing Additive Manufacturing to the Classroom. **Journal of Visual Languages and Computing**, v. 28, p. 226–237, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jvlc.2015.01.004>>.

SCULPTEO. The State of 3D Printing. **Sculpteo**, n. May, p. 1–30, 2017.

SHULMAN, H.; SPRADLING, D.; HOAG, C. Introduction to Additive Manufacturing. **Ceramic Industry**, v. 162, n. 12, p. 15–19, 2012.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. 3° ed. London: MIT Press, 1996.

SIMONA, B.; FLORIAN, L. Conjoint Analysis in Marketing Research. **Journal of Electrical and Electronics Engineering**, v. 5, n. 1, p. 19–22, 2012.

SKINNER, W. Manufacturing--missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**, v. 47, n. 3, p. 136–145, 1969. Disponível em: <<https://lt.itag.bibl.liu.se/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=3866739&site=ehost-live>>.

SKINNER, W. The Focused Factory. **Harvard Business Review**, v. 52, n. MAY, p. 113–121, 1974.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em manufatura - Atingindo competitividade nas operações industriais**. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

SLACK, N.; LEWIS, M. **Estratégia de Operações**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SORRENTINO, R.; PEVERINI, O. A. Additive Manufacturing: A key Enabling Technology for Next-Generation Microwave and Millimeter-Wave Systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 104, n. 7, p. 1362–1366, 2016.

SRIVATSAN, T. S.; SUDARSHAN, T. S. **Additive Manufacturing: Innovations, Advances, and Applications**. Boca Raton, FL: CRC Press - Taylor & Francis Group, 2015.

STAFFANSON, A.; RAGNARTZ, P. **Improving the product development process with additive manufacturing**. 2018. Mälardalens University, 2018.

TEIXEIRA, R.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J.; VEIT, D. **Estratégia de Produção: 20 artigos clássicos para aumentar a competitividade da empresa**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

THANKI, S.; GOVINDAN, K.; THAKKAR, J. An investigation on lean-green implementation practices in Indian SMEs using analytical hierarchy process (AHP) approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 284–298, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.105>>.

THOMAS, D. Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 85, n. 5–8, p. 1857–1876, 2016.

THOMAS, D.; GILBERT, S. Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing - A Literature Review and Discussion. **NIST Special Publication**, v. 1176, p. 1–77, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>>.

NIST.IR.1176>.

THÜRER, M.; GODINHO FILHO, M.; STEVENSON, M.; FREDENDALL, L. D. Small manufacturers in Brazil: competitive priorities vs. capabilities. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 74, n. 9–12, p. 1175–1185, 2014.

TRAN, A.; TEICH, T.; DÜRR, H.; TROMMLER, U.; DUONG, A. N. TECHNOLOGY-BASED ASSISTANCE SYSTEM OF ADDITIVE PROCESS CHAINS FOR PROTOTYPE MANUFACTURING (TAGAP). **International Journal of Engineering Tome XV**, p. 25–28, 2017.

TSAI, M.; WU, C. Study of Mandible Reconstruction Using a Fibula Flap with Application of Additive Manufacturing Technology. **BioMedical Engineering OnLine**, v. 13, n. 1, p. 57, 2014. Disponível em: <<http://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1475-925X-13-57>>.

VAN AKEN, J. E. Management research on the basis of the design paradigm: The quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VAROTSIS, B. A. **Material Jetting**. Disponível em: <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-material-jetting-3d-printing#what>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

VARTANIAN, K.; MCDONALD, T. Accelerating Industrial Adoption of Metal Additive Manufacturing Technology. **JOM - The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)**, v. 68, n. 3, p. 806–810, 2016.

VEIT, D. R. **Impactos da Manufatura Aditiva nos Sistemas Produtivos e suas Repercursões nos Critérios Competitivos**. 2018. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2018.

VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYBARK, D. C.; JACOBS, F. R. **Sistemas de planejamento e controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5^o ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

VUKIC, M.; KUZMANOVIC, M.; KOSTIC STANKOVIC, M. Understanding the Heterogeneity of Generation Y's Preferences for Travelling: a Conjoint Analysis Approach. **International Journal of Tourism Research**, v. 17, n. 5, p. 482–491, set. 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/jtr.2015>>.

WANG, Y. M.; CHIN, K. S. A new approach for the selection of advanced manufacturing technologies: DEA with double frontiers. **International Journal of**

Production Research, v. 47, n. 23, p. 6663–6679, 2009.

WANG, Y.; OLGUN, C. G.; WANG, L.; MENG, B. Risk Assessment of Water Inrush in Karst Tunnels Based on the Ideal Point Method. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 2, p. 901–911, 2018. Disponível em: <<http://www.journalssystem.com/pjoes/Risk-assessment-of-water-inrush-in-karst-tunnels-based-on-the-ideal-point-method,85199,0,2.html>>.

WHEELWRIGHT, S. C. Manufacturing Strategy: Defining the Missing Link. **Strategic Management Journal**, v. 5, p. 77–91, 1984.

WING, I.; GORHAM, R.; SNIDERMAN, B. 3D opportunity for quality assurance and parts qualification: Additive manufacturing clears the bar. **A Deloitte series on additive manufacturing**, p. 28, 2015. Disponível em: <<https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/3d-opportunity/3d-printing-quality-assurance-in-manufacturing.html>>.

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A. A Review of Additive Manufacturing. **ISRN Mechanical Engineering**, v. 2012, p. 1–10, 2012. Disponível em: <<http://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/208760/>>.

WU, B. **Manufacturing systems design and analysis**. New York: Springer Science & Business Media, 1992.

YASA, E.; KRUTH, J. Application of Laser Re-Melting on Selective Laser Melting Parts. **Advances in Production Engineering & Management**, v. 6, n. 4, p. 259–270, 2011.

YIN, R. K. **Case Study Reserach: Design and Methods**. Fifth Edit ed. [s.l.] SAGE Publications, 2013.

ZADPOOR, A. A. Design for Additive Bio-Manufacturing: From Patient-Specific Medical Devices to Rationally Designed Meta-Biomaterials. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 8, p. 1–18, 2017.

ZHAI, Y.; LADOS, D. A.; LAGOY, J. L. Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation. **JOM**, v. 66, n. 5, p. 808–816, 2014.

ZHOU, Q.; DONG, Y.; ZHANG, H.; GAO, Y. The analytic hierarchy process with personalized individual semantics. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 11, n. 1, p. 451, 2018. Disponível em: <<http://www.atlantispress.com/php/paper-details.php?id=25891983>>.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – MANUFATURA ADITIVA

Para a execução da revisão sistemática da literatura, visando encontrar algum modelo ou método existente de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva, os termos de busca utilizados podem ser verificados no Quadro 32.

Quadro 32 – Termos de Busca

Base	Termo de Busca
Nacional	Tecnologias de Manufatura Aditiva
	Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva
Internacional	<i>Additive Manufacturing Technologies</i>
	<i>Additive Manufacturing Process Selection</i>

Fonte: O Autor (2019).

Os termos foram escolhidos com o intuito de identificar pesquisas que discutissem as tecnologias de Manufatura Aditiva. Identificando assim, trabalhos que abordassem modelos e/ou métodos de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva. Os critérios de inclusão utilizados na seleção dos artigos foram:

- Os termos descritos no Quadro 32 devem aparecer no título ou resumo das pesquisas;
- Que o artigo fosse relacionado a uma ou mais tecnologias;
- A pesquisa contemplasse informações gerais quanto a Manufatura Aditiva;
- Aplicações onde a Manufatura Aditiva seja o meio e não uma ferramenta para um determinado fim;
- Textos acadêmicos revisados por especialistas.

As bases de dados utilizadas foram:

- a) Bases Nacionais: Scielo Nacional e Periódicos CAPES;
- b) Bases Internacionais: Academic Search Complete, Business Source Complete, Regional Business News, Library, Information Science &

Technology Abstracts with Full Text, Academic Search Premier, Academic Search Elite, Information Science & Technology Abstracts (ISTA), Computers & Applied Sciences Complete, eBook Collection (EBSCOhost), eBook Academic Collection (EBSCOhost), Fuente Académica Premier, Computer Source, Environment Complete, Legal Collection, MEDLINE with Full Text, Educational Administration Abstracts, GreenFILE, Human Resources Abstracts, AgeLine, RILM Abstracts of Music Literature (1967 to Present only), RIMP - Retrospective Index to Music Periodicals, SocINDEX with Full Text, SPORTDiscus with Full Text, CINAHL with Full Text, Dentistry & Oral Sciences Source, CAPES FSTA Full Text Collection, ERIC, MEDLINE Complete, FSTA - Food Science and Technology Abstracts, Psychology and Behavioral Sciences Collection, Religion and Philosophy Collection.

Quanto ao intervalo da pesquisa, por se tratar de uma revisão sistemática exploratória e a, provável escassez de métodos/modelos de seleção de tecnologias de Manufatura Aditiva, todo o período de busca disponível nas bases foi utilizado. Com relação ao tema e objeto desta pesquisa, os artigos que mais se relacionaram podem ser visualizados no Quadro 33.

Quadro 33 – Artigos Relacionados a esta Pesquisa – Seleção de Tecnologias de Manufatura Aditiva

TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL	RESUMO
Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting—Selection Guidelines	Prashanth Konda Gokuldoss, Sri Kolla, Jürgen Eckert	2017	Materials	Additive manufacturing (AM), also known as 3D printing or rapid prototyping, is gaining increasing attention due to its ability to produce parts with added functionality and increased complexities in geometrical design, on top of the fact that it is theoretically possible to produce any shape without limitations. However, most of the research on additive manufacturing techniques are focused on the development of materials/process parameters/products design with different additive manufacturing processes such as selective laser melting, electron beam melting, or binder jetting. However, we do not have any guidelines that discuss the selection of the most suitable additive manufacturing process, depending on the material to be processed, the complexity of the parts to be produced, or the design considerations. Considering the very fact that no reports deal with this process selection, the present manuscript aims to discuss the different selection criteria that are to be considered, in order to select the best AM process (binder jetting/selective laser melting/electron beam melting) for fabricating a specific component with a defined set of material properties.
A Decision Support System for Selecting Additive Manufacturing Technologies	Hong-Seok Park, Ngoc-Hien Tran	2017	Proceedings of the 2017 International Conference on Information System and Data Mining	Layer by layer manufacturing or additive manufacturing has been used in many application fields. Currently, there are a large number of 3D printing methods in the market. Selection of an appropriate method for a printed object is a difficult decision due to lack of bench mark standards and industry experiences with most of these methods. The paper presents a decision support system for selecting an appropriate 3D printing method to print products. From product requirements, printing methods were analyzed and evaluated to decide which one fulfills the product requirements in the best way. For realizing the decision support system, databases about materials as well as 3D printing methods were built; rules for decision making were proposed. The system allows selecting an appropriate 3D printing method from inputted product requirements.
Integrated Product-Process Design to Suggest Appropriate Manufacturing Technology: A Review	Uzair Khaleeq uz Zaman, Ali Siadat, Mickael Rivette, Aamer Ahmed Baqai, Lihong Qiao	2016	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	The materials and manufacturing processes are evolving very rapidly subject to today's high performance, shorter lead times, and high part complexity needs. With over 80,000 materials, various manufacturing technologies (additive and traditional), diverse streams of application (aerospace, motor vehicles, health care, etc.), and high cost incurred due to manufacturability of the part, it has become essential to choose the right compromise of technology resource in early stages of design considering the Design for Manufacturing (DFM)/Design for Additive Manufacturing (DFAM) guidelines. The concerned literature to date focuses on manufacturing technology selection by being either part specific or application specific. As multiple criteria are involved for decision making, this paper provides a thorough review on the following questions: (1) What are the common design criteria used in literature for additive and traditional manufacturing technologies with respect to product-process integration? (2) What is the literature contribution for material and manufacturing process selection strategies with special focus on comparison of additive and traditional manufacturing technologies? The paper attempts to provide as a result a basic generic methodology for resource selection (RS) which will not only take into account all of the areas of application, DFM/DFAM guidelines, and three design criteria (function, cost, and environment), but will also discuss avenues for collaborative product development. A complex industrial case study is also presented to test the proposed methodology.
Additive Manufacturing Process Selection Based on Parts' Selection Criteria	Cauê G. Mançanares, Eduardo de S. Zancul, Juliana Cavalcante da Silva, Paulo A. Cauchick Miguel	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Additive manufacturing (AM) has been used to produce complex parts usually in small batch sizes. Recently, AM has been gaining importance with the development of new production technologies encompassing a wider range of materials. These new technologies allow broader AM application in the industry, beyond traditional usage in rapid prototyping. As a result, the number of parts being produced by AM technologies has been increasing. The differences among AM production technologies and the specific capabilities and restrictions of each available manufacturing machine result in complex manufacturing process definition. Moreover, process technology knowledge in the area is still limited to few professionals. In order to support process manufacturing to evaluate which AM technology would be best suited to produce a particular part, this paper presents a method for selecting the AM process based on the technical specifications of a part. The method relies on Analytic Hierarchy Process (AHP) to rank the most appropriate technologies and machines. Relevant parameters of the main machines available in the market were raised. These parameters are considered in the selection of machines able to produce a particular part considering its specifications. Practical applications of the method resulted in adequate responses to support manufacturing process definition.
Additive manufacturing: A framework for implementation	Stephen Mellor n, Liang Hao, David Zhang	2014	International Journal of Productions Economics	As mass production has migrated to developing countries, European and US companies are forced to rapidly switch towards low volume production of more innovative, customized and sustainable products with high added value. To compete in this turbulent environment, manufacturers have sought new fabrication techniques to provide the necessary tools to support the need for increased flexibility and enable economic low volume production. One such emerging technique is Additive Manufacturing (AM). AM is a method of manufacture which involves the joining of materials, usually layer-upon-layer, to create objects from 3D model data. The benefits of this methodology include new design freedom, removal of tooling requirements, and economic low volumes. AM consists of various technologies to process versatile materials, and for many year sits dominant application has been the manufacture of prototypes, or Rapid Prototyping. However, the recent growth applications for direct part manufacture, or Rapid Manufacturing, has resulted in much research effort focusing on development of new processes and materials. This study focuses on the implementation process of AM and is motivated by the lack of socio-technical studies in this area. It addresses the need for existing and potential future AM project managers to have an implementation framework to guide their efforts in adopting this new and potentially disruptive technology class to produce high value products and generate new business opportunities. Based on are view of prior work sand through qualitative case study analysis, we construct and test a normative structural model of implementation factors related to AM technology, supply chain, organisation, operations and strategy.
Rapid prototyping process selection using graph theory and matrix approach	R. Venkata Rao,* K.K. Padmanabhan	2007	Jornal of Materials Processing Technology	This paper presents a methodology for selection of a rapid prototyping (RP) process that best suits the end use of a given product or part using graph theory and matrix approach. A 'rapid prototyping process selection index' is proposed to evaluate and rank the RP processes for producing a given product or part. The index is obtained from a RP process selection attributes function, obtained from the RP process selection attributes digraph. The digraph is developed considering RP process selection attributes and their relative importance for the considered application. An example is included to illustrate the approach.

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA

Quadro 34 – Embasamento teórico do questionário (Apêndice “B”)

Questão	Objetivo
1) Qual o segmento/área de atuação da empresa?	Perfil do entrevistado/empresa
2) Quantos funcionários?	
3) Em qual setor da empresa você atuava no momento da aquisição? E, em qual cargo?	
4) Em que ano foi realizada a aquisição da tecnologia aditiva?	
5) O processo de decisão/compra durou quanto tempo?	
6) Tempo de atuação na área de manufatura aditiva?	
7) De que maneira foi verificada a necessidade de aquisição do equipamento?	Perguntas gerais com intuito de que o entrevistado relembre do processo de tomada de decisão/aquisição do equipamento
8) Para a tomada de decisão por determinada tecnologia em detrimento de outra, foi considerado <i>payback</i> ? Peças de reposição? Assistência técnica acessível? Histórico do equipamento em outras empresas?	
9) Foi executada uma análise comparativa entre determinadas tecnologias de AM?	Perguntas relacionadas ao objetivo específico A
9.1) Se sim, por que determinadas tecnologias foram comparadas?	
9.2) Se não, por que não?	
10) Ao selecionar determinada tecnologia para estudo, foi levado em consideração alguma característica do sistema produtivo?	
10.1) Se sim, qual?	
10.2) Caso não, quais foram os critérios utilizados para iniciar o estudo de aquisição?	
11) No momento da decisão da compra, qual critério competitivo pesou mais na decisão?	Perguntas relacionadas aos critérios competitivos estudados nesta pesquisa e suas definições
11.1) Por que?	
11.2) A característica X (relacionada ao critério informado) da tecnologia foi considerada neste critério?	
12) Qual critério foi o menos importante?	
12.1) Por que?	
12.2) A característica X (relacionada ao critério informado) da tecnologia foi considerada neste critério?	
13) Por que os critérios XX e XX foram intermediários? (critérios competitivos faltantes)	
13.1) As características XX, XXX, XXX, XXX foram consideradas? De que maneira? (relacionadas aos critérios informados)	
14) Após a aquisição, a tecnologia atendeu plenamente o esperado?	
15) As necessidades do sistema produtivo foram atendidas?	
16) Caso não, quais foram as possíveis causas?	Perguntas relacionadas à tecnologia adquirida e material
17) Hoje, após utilizar, faria alguma análise de forma diferente durante o processo de decisão da compra?	
18) Qual tecnologia foi escolhida?	
19) Qual o material utilizado?	
20) Durante o processo, você sentiu falta de uma metodologia de apoio externa? Suas referências eram exclusivamente os fornecedores de tecnologias aditivas?	

Fonte: O Autor (2019).

Artefato

Considerando os critérios competitivos apresentados anteriormente e suas definições, além de suas relações com determinadas características das tecnologias aditivas. Ordene os cartões abaixo de maneira a representar a situação vivenciada no momento do processo de decisão/compra da tecnologia em questão. **Exemplificar dinâmica. Apresentar os cartões:**

Perfis de Escolha

Cartão	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
1	Alto	Alto	Alto	Alto
2	Alto	Médio	Médio	Médio
3	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
4	Médio	Alto	Médio	Baixo
5	Médio	Médio	Baixo	Alto
6	Médio	Baixo	Alto	Médio
7	Baixo	Alto	Baixo	Médio
8	Baixo	Médio	Alto	Baixo
9	Baixo	Baixo	Médio	Alto

Fonte: O Autor (2019).

Nota: Antes da questão de número 11, apresentar o Quadro abaixo:

Definições e relação dos critérios competitivos com determinadas características das Tecnologias Aditivas.

Critérios Competitivos	Definição	Característica da Tecnologia AM	Relação
Custo	Custo para aquisição.	Valor de aquisição	Quanto menor melhor
Flexibilidade	Capacidade da empresa em adaptar seus produtos às necessidades dos clientes ou a um cliente individualmente.	Tamanho máximo de protótipos Espessura das camadas	Quanto maior melhor Quanto menor melhor
Qualidade	Oferecer produtos que são produzidos de acordo com padrões pré-estabelecidos e baixa taxa de defeitos.	Precisão Qualidade de Superfície	Quanto maior melhor Quanto maior melhor
Velocidade	Capacidade da empresa em entregar os produtos no menor tempo possível.	Velocidade	Quanto maior melhor

Fonte: O Autor (2019) com base em (WHEELWRIGHT, 1984; MAHAMOOD et al., 2014a; ERNST & YOUNG GMBH (EY), 2016; TRAN et al., 2017).

APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DAS TECNOLOGIAS DE MANUFATURA ADITIVA

Quadro 35 – Base de Dados – Características Tecnologias

Tecnologia	Material Jetting (MJ)	Fused Deposition Modeling (FDM)	Binder Jetting (BJ)	Selective Laser Sintering (SLS)	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Stereolithography (SLA)	Electron Beam Melting (EBM)	Selective Laser Melting (SLM)	Laser Engineering Net Shape (LENS)
Velocidade	34800000000 mm/h	0,00059 mm/h	16,65 mm/h	32 mm/h	1828800 mm/h	14 mm/h	28800000000 mm/h	0,0024 mm/h	76,2 mm/h
Tamanho máximo de Protótipos	490 x 390 x 200 mm	406 x 355 x 406 mm	300 x 200 x 150 mm	340 x 340 x 600 mm	305 x 406 x 102 mm	380 x 380 x 250 mm	350 x 350 x 380 mm	420 x 420 x 400 mm	900 x 1500 x 900 mm
Precisão	140.0 µm	50.0 µm	100.0 µm	175.0 µm	100.0 µm	100.0 µm	140 µm	150 µm	186 µm
Espessura das camadas	17.0 µm	400.0 µm	250.0 µm	400.0 µm	200.0 µm	100.0 µm	50.0 µm	100 µm	125.0 µm
Preço	\$220,000.00	\$200,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$100,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00
Qualidade de superfície	+	-	-	-	-	+	+	-	-

Fonte: O Autor (2019).

NOTA: Quanto ao critério qualidade de superfície, obtido por meio da revisão sistemática da literatura, para a classificação “Vantagem” utilizou-se o sinal de “+” e para “Desvantagem” o sinal de “-”.

APÊNDICE D – PERFIS DE ESCOLHA

O Quadro 36 exibe as opções obtidas após a utilização do método fracionário.

Quadro 36 - Perfis de Escolha

Cartão	Custo	Flexibilidade	Qualidade	Velocidade
1	Alto	Alto	Alto	Alto
2	Alto	Médio	Médio	Médio
3	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
4	Médio	Alto	Médio	Baixo
5	Médio	Médio	Baixo	Alto
6	Médio	Baixo	Alto	Médio
7	Baixo	Alto	Baixo	Médio
8	Baixo	Médio	Alto	Baixo
9	Baixo	Baixo	Médio	Alto

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE E – LISTA DOS ARTIGOS SELECIONADOS

ID	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO	JOURNAL
AMT 01	Evaluation of The Impact Energy of the Samples Produced by the Additive Manufacturing Technology	J. Dobransky, M. Kočíško, P. Baron, V. Simkulet, L. Běhalek, E. Vojnova, L. Novakova Marcinčinova	2016	Journal Metalurgija
AMT 02	The Potential of Additive Manufacturing for Technology Entrepreneurship: An Integrative Technology Assessment	Johannes Gartner, Daniela Maresch, Matthias Fink	2015	Creativity and Innovation Management
AMT 03	Technology-Based Assistance System of Additive Process Chains for Prototype Manufacturing (Tagap)	Ngoc Anh Tran, Tobias Teich, Holger Dürr, Ulrich Trommler, An Ninh Duong	2017	International Journal of Engineering Tome XV
AMT 04	Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, Ventajas para la Construcción de Modelos, Prototipos Y Series Cortas en el Proceso de Diseño de Productos	David Torreblanca Díaz	2016	Iconofacto
AMT 05	Fabrication and Characterization of High-Purity Niobium Using Electron Beam Melting Additive Manufacturing Technology	Cesar A. Terrazas, Jorge Mireles, Sara M. Gaytan, Philip A. Morton, Alejandro Hinojos, Pedro Frigola, Ryan B. Wicker	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 06	Several Advantages of the Ultra High-Precision Additive Manufacturing Technology	Vyacheslav R. Shulunov	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology

AMT 07	Overview on Additive Manufacturing Technologies	Flaviana Calignano, Diego Manfredi, Elisa Paola Ambrosio, Sara Biamino, Mariangela Lombardi, Eleonora Atzeni, Alessandro Salmi, Paolo Minetola, Luca Iuliano, and Paolo Fino	2017	Proceedings of the IEEE
AMT 08	Implementing the South African Additive Manufacturing Technology Roadmap – The Role of an Additive Manufacturing Centre of Competence	W.B. du Preez, D.J. de Beer	2015	South African Journal of Industrial Engineering
AMT 09	Analysis of the Current State of Additive Welding Technologies for Manufacturing Volume Metallic Products (Review)	S. Peleshenko, V. Korzhyk, O. Voitenko, V. Khaskin, V. Tkachuk	2017	Journal of Enterprise Technologies
AMT 010	Accelerating Industrial Adoption of Metal Additive Manufacturing Technology	Kenneth Vartanian and Tom Mcdonald	2016	The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 011	Test Artefact for Additive Manufacturing Technology: FDM and SLM Preliminary Results	A. Berger, Y. Sharon, D. Ashkenazi, A. Stern	2016	Welding Equipment and Technology
AMT 012	Wire-Feed Additive Manufacturing of Metal Components: Technologies, Developments and Future Interests	Donghong Ding, Zengxi Pan, Dominic Cuiuri, Huijun Li	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 013	Fractography of Zirconia-Specimens Made Using Additivemanufacturing (LCM) Technology	Walter Harrera, Martin Schwentenweinb, Tanja Lubea, Robert Danzer	2016	Journal of the European Ceramic Society
AMT 014	Low-Loss 3-D Multilayer Transmission Lines and Interconnects Fabricated by Additive Manufacturing Technologies	Fan Cai, Yung-Hang Chang, Kan Wang, Chuck Zhang, Ben Wang, and John Papapolymerou	2016	IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques

AMT 015	Transformation of 3D Object into Flat Ribbon for RPS Additive Manufacturing Technology	Vyacheslav Shulunov	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 016	The Research Status and Development Trend of Additive Manufacturing Technology	Lian Chen, Yong He, Yingxin Yang, Shiwei Niu, Haitao Ren	2016	Int J Adv Manuf Technol
AMT 017	Development of Sheet Metal Forming Dies with Excellent Mechanical Properties Using Additive Manufacturing and Rapid Tooling Technologies	Chil-Chyuan Kuo, Ming-Ren Li	2016	Int J Adv Manuf Technol
AMT 018	Numerical Simulation and Experimental Calibration of Additive Manufacturing by Blown Powder Technology. Part I: Thermal Analysis	Michele Chiumenti, Xi Lin, Miguel Cervera, Wei Lei, Yuxiang Zheng, Weidong Huang	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 018	Cartilage Tissue Engineering with Silk Fibroin Scaffolds Fabricated by Indirect Additive Manufacturing Technology	Chih-Hao Chen, Jolene Mei-Jun Liu, Chee-Kai Chua, Siaw-Meng Chou, Victor Bong-Hang Shyu and Jyh-Ping Chen	2014	Materials
AMT 018	New Concept for Design and Control of 4 Axis Robot Using the Additive Manufacturing Technology	Mohamed Aburaia, Erich Markl, Kemajl Stuja	2014	DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation
AMT 021	Potential of Cold Gas Dynamic Spray as Additive Manufacturing Technology	A. Sova; S. Grigoriev; A. Okunkova; I. Smurov	2013	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 022	Quasicrystal Polymer Composites for Additive Manufacturing Technology	S. Kenzaria, D. Boninaa, A. Degiovannib, J.M. Duboisa, V. Fournée	2014	Acta Physica Polonica A
AMT 023	Additive Manufacturing: A Key Enabling Technology for Next-Generation Microwave and Millimeter-Wave Systems	Roberto Sorrentino; Oscar A. Peverini	2016	Proceedings of the IEEE

AMT 024	Research Summary of an Additive Manufacturing Technology for the Fabrication of 3D Composites with Tailored Internal Structure	Larry R. Holmes Jr.; Jaret C. Riddick	2014	The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 025	Characterization of Ceramic Components Fabricated Using Binder Jetting Additive Manufacturing Technology	J.A. Gonzalez, J. Mireles, Y. Lin, R.B. Wicker	2016	Ceramics International
AMT 026	Laser-induced forward transfer: A high resolution additive manufacturing technology	Philippe Delaporte n, Anne-PatriciaAlloncle	2015	Optics & LaserTechnology
AMT 027	Description and Modeling of the Additive Manufacturing Technology for Aerodynamic Coefficients Measurement	Saeed Daneshmand, Cyrus Aghanajafi	2012	Journal of Mechanical Engineering
AMT 028	Joining of Inconel 718 and 316 Stainless Steel Using Electron Beam Melting Additive Manufacturing Technology	Alejandro Hinojos, Jorge Mireles, Ashley Reichardt, Pedro Frigola, Peter Hosemann, Lawrence E. Murr, Ryan B.Wicker	2016	Materials and Design
AMT 029	Development of Novel Additive Manufacturing Technology: An Investigation of a Selective Composite Formation Process	Marlon Wesley Machado Cunico, Jonas de Carvalho	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 030	A Study on Diamond Grinding Wheels with Regular Grain Distribution Using Additive Manufacturing (AM) Technology	Zhibo Yang, Mingjun Zhang, Zhen Zhang, Aiju Liu, RuiYun Yang, Shian Liu	2016	Materials and Design
AMT 031	The Development of a Recognition Geometry Algorithm for Hybrid – Subtractive and Additive Manufacturing	David Homar, Franci Pušavec	2016	Journal of Mechanical Engineering
AMT 032	Computer Assisted Surgical Planning in THR and Fabrication of Hip Prostheses Via Additive Manufacturing Technologies	Rahmati, Sadegh; Abbaszadeh, Farid; Kheirollahi, Hossein; Farahmand, Farzam	2010	Annals of DAAAM & Proceedings

AMT 033	Additive Manufacturing Technology (Direct Metal Laser Sintering) as a Novel Approach to Fabricate Functionally Graded Titanium Implants: Preliminary Investigation of Fabrication Parameters	Wei-Shao Lin, Thomas L. Starr, Bryan T. Harris, Amirali Zandinejad, Dean Morton	2013	International Journal of Oral & Maxillofacial Implants
AMT 034	Fabrication of Tibias Cooling Structures Demonstrators Using Additive Manufacturing (AM) Technology and HIP	Nerea Ordás, Luis Carlos Ardila, Iñigo Iturriza, Fermín Garcianda, Pedro Álvarez, Carmen García-Rosales	2015	Fusion Engineering and Design
AMT 035	Application of Polystyrene Prototypes Manufactured by FDM Technology for Evaporative Casting Method	Filip Gorski, Wiesław Kuczko, Radosław Wichniarek, Paweł Bun, Paweł Szymanski	2017	MM Science Journal
AMT 036	Is 3D Printing Transforming the Project Management Function in the Aerospace Industry?	Alejandro Romero-Torres, Darli Rodrigues Vieira	2016	The Journal of Modern Project Management
AMT 037	Designing the Additive Manufacturing Supply Chain	Sabrina Berbain	2017	Northeast Decision Sciences Institute
AMT 038	An Investigation of Sintering Parameters on Titanium Powder for Electron Beam Melting Processing Optimization	Philipp Drescher, Mohamed Sarhan, Hermann Seitz	2016	Materials
AMT 039	3D Printing-Based Integrated Water Quality Sensing System	Muinul Banna, Kaustav Bera, Ryan Sochol, Liwei Lin, Homayoun Najjaran, Rehan Sadiq, Mina Hoorfar	2017	Sensors
AMT 040	Powder-Based 3D Printing for Bone Tissue Engineering	G. Brunello, S. Sivoletta, R. Meneghello, L. Ferroni, C. Gardin, A. Piattelli, B. Zavan, E. Bressan	2016	Biotechnology Advances
AMT 041	Additive Manufacturing Methods and Modelling Approaches: A Critical Review	H. Bikas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris	2015	Int J Adv Manuf Technol

AMT 042	Fatigue Performance of Additive Manufactured Metallic Parts	A.B. Spierings, T.L. Starr, K. Wegener	2013	Rapid Prototyping Journal
AMT 043	Fatigue Crack Growth Mechanisms at the Microstructure Scale in as-Fabricated and Heat Treated Ti-6Al-4V ELI Manufactured by Electron Beam Melting (EBM)	Haize Galarraga, Robert J. Warren, Diana A. Lados, Ryan R. Dehoff, Michael M. Kirka	2017	Engineering Fracture Mechanics
AMT 044	New Product Design Development Based on Additive Manufacturing & Rapid Prototyping Methodology	Ognen Tuteski, Atanas Kočov, Taško Rizov	2015	Journal for Technology of Plasticity
AMT 045	Sintering in Laser Sintering	David L. Bourell	2016	The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 046	Overview of Materials Qualification Needs for Metal Additive Manufacturing	Mohsen Seifi, Ayman Salem, Jack Beuth, Ola Harrysson, John J. Lewandowski	2016	The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 047	Microstructure and Mechanical Behaviour of Laser Metal Deposited Titanium Alloy	R.M. MahaMood, E.T. akinlabi	2016	Lasers in Engineering
AMT 048	Major Advances in Ophthalmology: Emergence of Bioadditive Manufacturing	Marisela Rodríguez Salvador, Ana Marcela Hernández de Menéndes	2016	Journal of Intelligence Studies in Business
AMT 049	In Situ Monitoring of FDM Machine Condition Via Acoustic Emission	Haixi Wu, Yan Wang, Zhonghua Yu	2016	International Journal of Advanced Manufacturing Technology

AMT 050	Sustainability-Induced Dual-Level Optimization of Additive Manufacturing Process	Anoop Verma, Rahul Rai	2016	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 051	From 3D Models to 3D prints: An Overview of the Processing Pipeline	Marco Livesu, Stefano Ellero, Jonàs Martínez, Sylvain Lefebvre, Marco Attene	2017	Eurographics
AMT 052	Enhancing the Resolution of Selective Inhibition Sintering (sis) for Metallic Part Fabrication	Payman Torabi, Matthew Petros and Behrokh Khoshnevis	2015	Rapid Prototyping Journal
AMT 053	Additive Layered Manufacturing: Sectors of Industrial Application Shown Through Case Studies	Vojislav Petrovic, Juan Vicente Haro Gonzalez, Olga Jorda Ferrando, Javier Delgado Gordillo, Jose Ramo n Blasco Puchades and Luis Portole s Grin an	2011	International Journal of Production Research
AMT 054	Solid-State Additive Manufacturing for Heat Exchangers	Mark Norfolk, Hilary Johnson	2015	The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 055	A Review of Additive Manufacturing	Kaufui V.Wong, Aldo Hernandez	2012	International Scholarly Research Network
AMT 056	Multi-Material metallic Structure Fabrication Using Electron Beam Melting	Cesar A. Terrazas, Sara M. Gaytan, Emmanuel Rodriguez, David Espalin, Lawrence E. Murr, Francisco Medina, Ryan B. Wicker	2013	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 057	Digital Fabrication of Mathematical Models via Low-Cost 3D FDM Desktop Printer	Y. Gür*	2015	Acta Physica Polonica A

AMT 058	Accuracy Prediction in Fused Deposition Modeling	A. Boschetto, L. Bottini	2014	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 059	Modelling of Manufacturing Systems by Rapid Prototyping Technology Application	Jozef Novak-Marcincin	2014	Acta Tehnica Corviniensis
AMT 060	On the Wear Properties of Nylon6-SiC-Al ₂ O ₃ Based Fused Deposition Modelling Feed Stock Filament	Rupinder Singh, Narinder Singh, Ada Amendola, Fernando Fraternali	2017	Composites Part B
AMT 061	Experimental Investigation for Dynamic Stiffness and Dimensional Accuracy of FDM Manufactured Part Using IV-Optimal Response Surface Design	Omar Ahmed Mohamed, Syed Hasan Masood, Jahar Lal Bhowmik	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 062	Selective Laser Melting Manufacturing of Microwave Waveguide Devices	Oscar A. Peverini, Mauro Lumia, Flaviana Calignano, Giuseppe Addamo, Massimo Lorusso, Elisa Paola Ambrosio, Diego Manfredi, and Giuseppe Virone	2017	Proceedings of the IEEE
AMT 063	Process Planning for 8-axis Robotized Laser-Based Direct Metal Deposition System: A Case on Building Revolved Part	Yaoyu Ding, Rajeev Dwivedi, Radovan Kovacevic	2017	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing
AMT 064	Selective Laser Melting of TiB ₂ /316L Stainless Steel Composites: The Roles of Powder Preparation and Hot Isostatic Pressing Post-Treatment	Bandar AlMangour, Dariusz Grzesiak, Jenn-Ming Yang	2017	Powder Technology
AMT 065	Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation	Yuwei Zhai, Diana A. Lados, Jane L. Lagoy	2014	The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society

AMT 066	Additive Manufacturing of Biocompatible Ceramics	Goffard, R., Sforza, T., Clarinval, A, Dormal, T., Boilet, L., Hocquet, S., Cambier, F.	2013	Advances in Production Engineering and Management
AMT 067	Comparative Assessment of Process Combination for Ti6Al4V Components	Pieter Johannes Theron Conradie, Dimitri Dimitrov, Gert Adriaan Oosthuizen, Philip Hugo, Mike Saxer,	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 068	System and Process Development for Coaxial Extrusion in Fused Deposition Modelling	Adam C. Taylor, Stephen Beirne, Gursel Alici, Gordon G. Wallace	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 069	Experimental Investigation of Time-Dependent Mechanical Properties of PC-ABS Prototypes Processed by FDM Additive Manufacturing Process	Omar Ahmed Mohamed, Syed Hasan Masood, Jahar Lal Bhowmik	2017	Materials Letters
AMT 070	Three-dimensional Printing: Technologies, Applications, and Limitations in Neurosurgery	Josephine U. Pucci, Brandon R. Christophe, Jonathan A. Sisti, Edward S. Connolly Jr.	2017	Biotechnology Advances
AMT 071	Laser-arc Hybrid Welding of Wrought to Selective Laser Molten Stainless Steel	Giuseppe Casalino, Sabina Luisa Campanelli, Antonio Domenico Ludovico	2013	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 072	Additive Manufacturing and its Implications for Military Ethics	John Mark Mattox	2013	Journal of Military Ethics
AMT 073	Rethinking Additive Manufacturing and Intellectual Property Protection	Thomas Kurfess, William J. Cass	2014	Research-Technology Management
AMT 074	Decentralization and Localization of Production: The Organizational and Economic Consequences of Additive Manufacturing (3D Printing)	Avner Ben-Ner, Enno Siemsen	2017	California Management Review

AMT 075	Application of Laser Additive Manufacturing to Produce Dies for Aluminium High Pressure Die-Casting	M.F.V.T. Pereira, M. Williams, W. B. du Preez	2012	South African Journal of Industrial Engineering
AMT 076	Powder-Bed Stabilization for Powder-Based Additive Manufacturing	Andrea Zocca, Cynthia M. Gomes, Thomas Mühler, Jens Günster	2014	Advances in Mechanical Engineering
AMT 077	Investigations on the Additive Manufacturing and Heavy Wire Bonding Capability of Selective Laser-Melted Circuit Carriers Christopher	Christopher Kaestle, Aarief Syed-Khaja, Joerg Franke	2017	Journal of Microelectronics and Electronic Packaging
AMT 078	Additive Manufacturing Processes: Selective Laser Melting, Electron Beam Melting and Binder Jetting—Selection Guidelines	Prashanth Konda Gokuldoss, Sri Kolla, Jürgen Eckert	2017	Materials
AMT 079	Additive Construction: State-of-the-Art, Challenges and Opportunities	Nathalie Labonnote, Anders Rønnquist, Bendik Manum, Petra Rüter	2016	Automation in Construction
AMT 080	Effect of Single Particle Size, Double Particle Size and Triple Particle Size Al ₂ O ₃ in Nylon-6 Matrix on Mechanical Properties of Feed Stock Filament for FDM	Rupinder Singh, Piyush Bedi, Fernando Fraternali, I.P.S. Ahuja	2016	Composites Part B
AMT 081	Dynamics of Ultrasonic Additive Manufacturing	Adam Hehr, Marcelo J. Dapino	2017	Ultrasonics
AMT 082	Additive Manufacturing of ITER First Wall Panel Parts by Two Approaches: Selective Laser Melting and Electron Beam Melting	Yuan Zhong, Lars-Erik Rännar, Stefan Wikman, Andrey Koptuyug, Leifeng Liu, Daqing Cui, Zhijian Shen	2017	Fusion Engineering and Design

AMT 083	Manufacturing Feasibility and Forming Properties of Cu-4Sn in Selective Laser Melting	Zhongfa Mao, David Z. Zhang, Peitang Wei, Kaifei Zhang	2017	Materials
AMT 084	Viewpoint: Metallurgical Aspects of Powder Bed Metal Additive Manufacturing	Rainer J. Hebert	2016	Journal of Materials Science
AMT 085	Industry 4.0 Concept: Background and Overview	Andreja Rojko	2017	International Journal of Interactive Mobile Technologies
AMT 086	On the Selective Laser Melting (SLM) of the AISi10Mg Alloy: Process, Microstructure, and Mechanical Properties	Francesco Trevisan, Flaviana Calignano, Massimo Lorusso, Jukka Pakkanen, Alberta Aversa, Elisa Paola Ambrosio, Mariangela Lombardi, Paolo Fino, Diego Manfredi	2017	Materials
AMT 087	Influence of Printing Speed on Production of Embossing Tools Using FDM 3D Printing Technology	Jelena Žarko, Gojko Vladić, Magdolna Pal, Sandra Dedijer	2017	Journal of Graphic Engineering & Design (JGED)
AMT 088	Three-Dimensional Printing: Review of Application in Medicine and Hepatic Surgery	Rui Yao, Gang Xu, Shuang-Shuang Mao, Hua-Yu Yang, Xin-Ting Sang, Wei Sun, Yi-Lei Mao	2016	Cancer Biology & Medicine
AMT 089	The 3 D Printing Age and Basic Sciences Education	Safaa El Bialy	2016	Education in Medicine Journal

AMT 090	Theoretical and Experimental Study on Surface Roughness of 316L Stainless Steel Metal Parts Obtained Through Selective Laser Melting	Di Wang, Yang Liu, Yongqiang Yang, Dongming Xiao	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 091	A Survey of the Design Methods for Additive Manufacturing to Improve Functional Performance	Yunlong Tang, Yaoyao Fiona Zhao	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 092	Recent Advances in Bioprinting Techniques: Approaches, Applications and Future Prospects	Jipeng Li, Mingjiao Chen, Xianqun Fan, Huifang Zhou	2016	Journal of Translational Medicine
AMT 093	3D Metal Printing Technologies: A Review	Avinash Malladi, SBS Sarma	2017	IUP Journal of Mechanical Engineering
AMT 094	Effect of Weld Power and Build Compliance on Ultrasonic Consolidation	Adam Hehr, Paul J. Wolcott, Marcelo J. Dapino	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 095	Research on the Redesign of Precision Tools and Their Manufacturing Process Based On Selective Laser Melting (SLM)	Di Wang, Changhui Song, Yongqiang Yang, Ruicheng Liu, Ziheng Ye, Dongming Xiao, Yang Liu	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 096	Design for Additive Manufacturing of Cellular Structures	Chen Chu, Greg Graf, David W. Rosen	2008	Computer-Aided Design & Applications
AMT 097	AM and Aerospace: An Ideal Combination	Liz Nickels	2015	Metal Powder Report

AMT 098	Mechanical Property Characterization and Simulation of Fused Deposition Modeling Polycarbonate Parts	Miquel Domingo-Espin, Josep M. Puigoriol-Forcada, Andres-Amador Garcia-Granada, Jordi Llumà, Salvador Borros, Guillermo Reyes	2015	Materials & Design
AMT 099	On Design for Additive Manufacturing: Evaluating Geometrical Limitations	Guido A. O. Adam Detmar Zimmer	2015	Rapid Prototyping Journal
AMT 100	Accuracy Analysis of Additive Technique for Parts Manufacturing	Radomir Mendricky	2016	Mm Science Journal
AMT 101	Additive Manufacturing-Enabled Design Theory and Methodology: A Critical Review	Sheng Yang, Yaoyao Fiona Zhao	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 102	Advanced Manufacturing Technologies for Smart and Competitive Businesses	Asif Khan, Kaynat Nasser	2016	IUP Journal of Operations Management
AMT 103	Parameters Influencing the Precision of Slm Production	Petr Keller, Radomir Mendricky	2015	MM Science Journal
AMT 104	Standardization in Additive Manufacturing: Activities Carried out by International Organizations and Projects	M. D. Monzón, Z. Ortega, A. Martínez, F. Ortega	2014	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 105	Revolutionary Additive Manufacturing: An Overview	R.M. Mahamood, E.T. Akinlabi, M. Shukla, S. Pityana	2014	Lasers in Engineering

AMT 106	Friction Stir Additive Manufacturing: Route to High Structural Performance	S. Palanivel, H. Sidhar, R.S. Mishra	2015	JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 107	Additive Manufacturing of Tissues and Organs	Ferry P.W. Melchels, Marco A.N. Domingos, Travis J. Klein, Jos Malda, Paulo J. Bartolo, Dietmar W. Hutmacher	2012	Progress in Polymer Science
AMT 108	Additive Manufacturing and its Societal Impact: A Literature Review	Samuel H. Huang, Peng Liu, Abhiram Mokasdar, Liang Hou	2013	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 109	Selective Laser Sintering in Biomedical Engineering	Alida Mazzoli	2013	Medical & Biological Engineering & Computing
AMT 110	Layers of Complexity: Making the Promises Possible for Additive Manufacturing of Metals	Lynne Robinson, Justin Scott	2014	JOM: The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society
AMT 111	Economical Investigation of Rapid Prototyping	Péter Ficzer, Lajos Borbás, Ádám Török	2013	International Journal for Traffic and Transport Engineering,
AMT 112	Enhancement of Deposition Quality in Micro-plasma Transferred Arc Deposition Process	Suyog Jhavar, N. K. Jain, C. P. Paul	2014	Materials & Manufacturing Processes

AMT 113	Influence of Process Parameters on Part Quality and Mechanical Properties for DMLS And SLM with Iron-Based Materials	Jordi Delgado, Joaquim Ciurana, Ciro A. Rodríguez	2012	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 114	Applications of Rapid Prototyping Fused Deposition Modeling Materials	Novakova - Marcincinova, Ludmila; Novak - Marcincin, Jozef	2012	Annals of DAAAM & Proceedings is the property of DAAAM International
AMT 115	Application of Laser Re-Melting on Selective Laser Melting Parts	Yasa, E.; Kruth, J.	2011	Advances in Production Engineering & Management
AMT 116	Using AM for Gas Turbine Repair		2014	Additive manufacturing
AMT 117	3D Printing with Polymers: Challenges Among expanding Options and Opportunities	Jeffrey W. Stansbury, Mike J. Idacavage	2016	ScienceDirect
AMT 118	Laminate Object Manufacturing Vs. Fused Deposition Modeling - Machine Comparison	Pilipovic, Ana; Sercer, Mladen; Stojanovic, Ivan; Brajliah, Tomaz; Drstvensek, Igor; Valentan, Bogdan	2011	Annals of DAAAM & Proceedings
AMT 119	Statistical Process Control Applied to Additive Manufacturing Enables Series Production of Orthopedic Implants	Ljungblad, Ulric	2010	Annals of DAAAM & Proceedings
AMT 120	Fused Deposition Modelling Technique (Fdm) for Fabrication of Custom-Made Foot Orthoses: A Cost and Benefit Analysis	M. S. Jumani, Shakil Shaikh, Sadiq A Shah	2014	Science International

AMT 121	Open-Source Selective Laser Sintering (OpenSLS) of Nylon and Biocompatible Polycaprolactone	Ian S. Kinstlinger, Andreas Bastian, Samantha J. Paulsen, Daniel H. Hwang, Anderson H. Ta, David R. Yalacki, Tim Schmidt, Jordan S. Miller	2016	PLoS ONE
AMT 122	Selection of Additive Manufacturing Processes	Wang, Yuanbin and Blache, Robert and Xu, Xun	2017	Rapid Prototyping Journal
AMT 123	MS&T'13 in Montreal: A Feast of Additive Manufacturing Technology	Joseph Capus	2014	Acta Physica Polonica, A.
AMT 124	Analysis of New Additive Manufacturing Technology Based on Selective Composite Formation Using Finite Element Method Approach	Marlon Wesley Machado Cunico, Jonas de Carvalho	2016	Rapid Prototyping Journal
AMT 125	A Review on 3D Micro-Additive Manufacturing Technologies	Mohammad Vaezi, Hermann Seitz, Shoufeng Yang	2012	International Journal of Advanced Manufacturing Technology
AMT 126	Comparing Additive Manufacturing Technologies for Customised Wrist Splints	Abby Megan Paterson, Richard Bibb, R. Ian Campbell, Guy Bingham	2015	Rapid Prototyping Journal
AMT 127	3D Printing Technologies Applied for Food Design: Status and Prospects	Fernanda C.Godoi, Sangeeta Prakash, Bhesh R. Bhandari	2016	Journal of Food Engineering
AMT 128	Rapid Manufacturing by Polyjet Technology of Customized Turbines for Renewable Energy Generation	Razvan Udriou, Anisor Nedelcu, Bogdan Deaky	2011	Environmental Engineering and Management Journal
AMT 129	Additive Manufacturing of Ceramics: Issues, Potentialities, and Opportunities	Andrea Zocca, Paolo Colombo, Cynthia M. Gomes and Jens G€unster	2015	Journal of the American Ceramic Society

AMT 130	3D Printing: A Revolution in the Making	Julie Kim, David Robb	2014	University of Auckland Business Review
AMT 131	Every Day a New 3D Printing Material		2017	Technology and Engineering Teacher
AMT 132	Metal Additive Manufacturing: A Review	William E. Frazier	2014	Journal of Materials Engineering & Performance
AMT 133	Additive Manufacturing and Sustainability: An Exploratory Study of The Advantages and Challenges	Simon Ford, M elanie Despeisse	2016	Journal of Cleaner Production
AMT 134	Application Areas of Additive Manufacturing	N.J.R. Venekamp, H.Th. Le Fever	2015	IEEE Technology and Society Magazine
AMT 135	Optimization of Fused Deposition Modeling Process Parameters for Dimensional Accuracy Using I-Optimality Criterion	Omar Ahmed Mohamed, Syed Hasan Masood, Jahar Lal Bhowmik	2016	Measurement
AMT 136	Additive Manufacturing Process Selection Based on Parts' Selection Criteria	Cauê G. Mançanares, Eduardo de S. Zancul, Juliana Cavalcante da Silva, Paulo A. Cauchick Miguel	2015	International Journal of Advanced Manufacturing Technology

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE F – MATÉRIAS-PRIMAS CONTEMPLADAS X TECNOLOGIAS ADITIVAS ESTUDADAS

Quadro 37 – Matérias-Primas x Tecnologias Aditivas

MATERIAIS	Material Jetting (MJ)	Fused Deposition Modeling (FDM)	Binder Jetting (BJ)	Selective Laser Sintering (SLS)	Laminated Object Manufacturing (LOM)	Stereolithography (SLA)	Electron Beam Melting (EBM)	Selective Laser Melting (SLM)	Laser Engineering Net Shape (LENS)	QTD MATERIAIS
Liga de Níquel		X					X	X	X	4
Liga de Titânio		X					X	X	X	4
Polímero	X	X			X	X				4
Aço Ferramenta		X						X	X	3
Fotopolímero	X	X				X				3
Liga Aço Inoxidável		X						X	X	3
Liga de Alumínio		X						X	X	3
Liga de Cobre		X							X	2
Liga de Cromo-Cobalto							X	X		2
Plástico Curado UV/Termorresistente/Cinza	X					X				2
Poliestireno		X		X						2
Polímero Termoplástico		X		X						2
Acrílico (Semelhante)	X									1
Areia de Cerâmica Sintética			X							1
Borracha	X									1
Celulose					X					1
Fibras de vidro		X								1
Filamento de PET com Propilenoglicol		X								1
Filamento de Polímero com fibras de madeira		X								1
Filamento de Polímero com partículas de Cobre		X								1
Filamento de Polímero com pó de Bronze		X								1
Liga de Cobalto									X	1
Liga de Refratários									X	1
Metal Fundido						X				1
Nylon preenchido com pó de Alumínio				X						1
Óxido de Ferro e Cromo			X							1
Poliamida				X						1
Poliamida com fibras de Carbono				X						1
Policarbonato						X				1

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE G – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL NÍQUEL

Quadro 38 - Matrizes de Comparação – Material Níquel

Material: Liga de Níquel				
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2	2
Electron Beam Melting (EBM)	1/2	1	1	1
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1/1	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1/1	1

Material: Liga de Níquel				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/7	1/9
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	2	1
Selective Laser Melting (SLM)	7	1/2	1	1/2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	1	2	1

Material: Liga de Níquel				
Qualidade	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9	9	9
Electron Beam Melting (EBM)	1/9	1	2	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/9	1/2	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1/2	1/2	1

Material: Liga de Níquel				
Velocidade	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/2	1/6
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	7	3
Selective Laser Melting (SLM)	2	1/7	1	1/5
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/3	5	1

Material: Liga de Níquel				
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/7	1/6
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	2	3
Selective Laser Melting (SLM)	7	1/2	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/3	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 39 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Níquel

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4000
Electron Beam Melting (EBM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Selective Laser Melting (SLM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.04	0.05	0.03	0.04	0.0395
Electron Beam Melting (EBM)	0.32	0.38	0.39	0.38	0.3682
Selective Laser Melting (SLM)	0.28	0.19	0.19	0.19	0.2141
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.36	0.38	0.39	0.38	0.3782

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Qualidade	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.75	0.82	0.72	0.64	0.7328
Electron Beam Melting (EBM)	0.08	0.09	0.16	0.14	0.1193
Selective Laser Melting (SLM)	0.08	0.05	0.08	0.14	0.0879
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.08	0.05	0.04	0.07	0.0601

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Velocidade	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.06	0.08	0.04	0.04	0.0530
Electron Beam Melting (EBM)	0.47	0.62	0.52	0.69	0.5752
Selective Laser Melting (SLM)	0.12	0.09	0.07	0.05	0.0817
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.35	0.21	0.37	0.23	0.2901

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.05	0.06	0.04	0.03	0.0439
Electron Beam Melting (EBM)	0.36	0.51	0.55	0.49	0.4774
Selective Laser Melting (SLM)	0.32	0.26	0.27	0.32	0.2931
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.27	0.17	0.14	0.16	0.1856

Material: Liga de Níquel - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.0834
Electron Beam Melting (EBM)	0.8457
Selective Laser Melting (SLM)	0.5072
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.5638

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE H – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL TITÂNIO

Quadro 40 - Matrizes de Comparação – Material Titânio

Material: Titânio				
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2	2
Electron Beam Melting (EBM)	1/2	1	1	1
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1/1	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1/1	1

Material: Titânio				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/7	1/9
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	2	1
Selective Laser Melting (SLM)	7	1/2	1	1/2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	1	2	1

Material: Titânio				
Qualidade	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9	9	9
Electron Beam Melting (EBM)	1/9	1	2	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/9	1/2	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1/2	1/2	1

Material: Titânio				
Velocidade	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/2	1/6
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	7	3
Selective Laser Melting (SLM)	2	1/7	1	1/5
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/3	5	1

Material: Titânio				
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	EBM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/8	1/7	1/6
Electron Beam Melting (EBM)	8	1	2	3
Selective Laser Melting (SLM)	7	1/2	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/3	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 41 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Titânio

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA					
Custo	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.4000
Electron Beam Melting (EBM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Selective Laser Melting (SLM)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.2000

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.04	0.05	0.03	0.04	0.0395
Electron Beam Melting (EBM)	0.32	0.38	0.39	0.38	0.3682
Selective Laser Melting (SLM)	0.28	0.19	0.19	0.19	0.2141
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.36	0.38	0.39	0.38	0.3782

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA					
Qualidade	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.75	0.82	0.72	0.64	0.7328
Electron Beam Melting (EBM)	0.08	0.09	0.16	0.14	0.1193
Selective Laser Melting (SLM)	0.08	0.05	0.08	0.14	0.0879
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.08	0.05	0.04	0.07	0.0601

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA					
Velocidade	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.06	0.08	0.04	0.04	0.0530
Electron Beam Melting (EBM)	0.47	0.62	0.52	0.69	0.5752
Selective Laser Melting (SLM)	0.12	0.09	0.07	0.05	0.0817
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.35	0.21	0.37	0.23	0.2901

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	EBM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.05	0.06	0.04	0.03	0.0439
Electron Beam Melting (EBM)	0.36	0.51	0.55	0.49	0.4774
Selective Laser Melting (SLM)	0.32	0.26	0.27	0.32	0.2931
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.27	0.17	0.14	0.16	0.1856

Material: Liga de Titânio - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.0834
Electron Beam Melting (EBM)	0.8457
Selective Laser Melting (SLM)	0.5072
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.5638

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE I – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLÍMERO

Quadro 42 - Matrizes de Comparação – Material Polímero

Material: Liga de Polímero				
Custo	MJ	FDM	LOM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/2	1/9	1
Fused Deposition Modeling (FDM)	2	1	1/8	1
Laminated Object Manufacturing (LOM)	9	8	1	9
Stereolithography (SLA)	1/1	1	1/9	1

Material: Liga de Polímero				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	FDM	LOM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/2	3	2
Fused Deposition Modeling (FDM)	2	1	4	3
Laminated Object Manufacturing (LOM)	1/3	1/4	1	1/2
Stereolithography (SLA)	1/2	1/3	2	1

Material: Liga de Polímero				
Qualidade	MJ	FDM	LOM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/9	1/6	1/6
Fused Deposition Modeling (FDM)	9	1	4	4
Laminated Object Manufacturing (LOM)	6	1/4	1	1
Stereolithography (SLA)	6	1/4	1	1

Material: Liga de Polímero				
Velocidade	MJ	FDM	LOM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9	9	9
Fused Deposition Modeling (FDM)	1/9	1	1/7	1/3
Laminated Object Manufacturing (LOM)	1/9	7	1	5
Stereolithography (SLA)	1/9	3	1/5	1

Material: Liga de Polímero				
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	FDM	LOM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9	9	9
Fused Deposition Modeling (FDM)	1/9	1	1/4	1/7
Laminated Object Manufacturing (LOM)	1/9	4	1	1/4
Stereolithography (SLA)	1/9	7	4	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 43 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Polímero

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA					
Custo	MJ	FDM	LOM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.08	0.05	0.08	0.08	0.0726
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.15	0.10	0.09	0.08	0.1063
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.69	0.76	0.74	0.75	0.7366
Stereolithography (SLA)	0.08	0.10	0.08	0.08	0.0845

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	FDM	LOM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.26	0.24	0.30	0.31	0.2771
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.52	0.48	0.40	0.46	0.4658
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.09	0.12	0.10	0.08	0.0960
Stereolithography (SLA)	0.13	0.16	0.20	0.15	0.1611

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA					
Qualidade	MJ	FDM	LOM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.05	0.07	0.03	0.03	0.0421
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.41	0.62	0.65	0.65	0.5818
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.27	0.16	0.16	0.16	0.1881
Stereolithography (SLA)	0.27	0.16	0.16	0.16	0.1881

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA					
Velocidade	MJ	FDM	LOM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.7500
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833
Stereolithography (SLA)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA					
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	FDM	LOM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.7500
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833
Stereolithography (SLA)	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0833

Material: Liga de Polímero - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Material Jetting (MJ)	1.0271
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.5492
Laminated Object Manufacturing (LOM)	0.1793
Stereolithography (SLA)	0.2444

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE J – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – AÇO FERRAMENTA

Quadro 44 - Matrizes de Comparação – Material Aço Ferramenta

Material: Aço Ferramenta			
Custo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1

Material: Aço Ferramenta			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/9
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	1/2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	2	1

Material: Aço Ferramenta			
Qualidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9	9
Selective Laser Melting (SLM)	1/9	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1/2	1

Material: Aço Ferramenta			
Velocidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/2	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	2	1	1/5
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	5	1

Material: Aço Ferramenta			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 45 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Aço Ferramenta

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Custo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Melting (SLM)	0.25	0.25	0.25	0.2500
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.25	0.25	0.25	0.2500

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.06	0.05	0.07	0.0577
Selective Laser Melting (SLM)	0.41	0.32	0.31	0.3468
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.53	0.64	0.62	0.5955

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Qualidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.82	0.86	0.75	0.8084
Selective Laser Melting (SLM)	0.09	0.10	0.17	0.1176
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.09	0.05	0.08	0.0740

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Velocidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.11	0.08	0.12	0.1033
Selective Laser Melting (SLM)	0.22	0.15	0.15	0.1741
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.67	0.77	0.73	0.7225

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.07	0.09	0.05	0.0703
Selective Laser Melting (SLM)	0.50	0.61	0.63	0.5801
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.43	0.30	0.32	0.3496

Material: Aço Ferramenta - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE			
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.1281			
Selective Laser Melting (SLM)	0.9269			
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.9451			

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE K – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – FOTOPOLÍMERO

Quadro 46 - Matrizes de Comparação – Material Fotopolímero

Material: Fotopolímero			
Custo	MJ	FDM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/2	1
Fused Deposition Modeling (FDM)	2	1	1
Stereolithography (SLA)	1/1	1	1

Material: Fotopolímero			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	FDM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/5	1/4
Fused Deposition Modeling (FDM)	5	1	2
Stereolithography (SLA)	4	1/2	1

Material: Fotopolímero			
Qualidade	MJ	FDM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/9	1/6
Fused Deposition Modeling (FDM)	9	1	1
Stereolithography (SLA)	6	1	1

Material: Fotopolímero			
Velocidade	MJ	FDM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9	9
Fused Deposition Modeling (FDM)	1/9	1	1
Stereolithography (SLA)	1/9	1	1

Material: Liga de Fotopolímero			
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	FDM	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9	9
Fused Deposition Modeling (FDM)	1/9	1	1
Stereolithography (SLA)	1/9	1	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 47 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Fotopolímero

Material: Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA				
Custo	MJ	FDM	SLA	Média
Material Jetting (MJ)	0.25	0.20	0.33	0.2611
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.40	0.33	0.4111
Stereolithography (SLA)	0.25	0.40	0.33	0.3278

Material: Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	FDM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.10	0.12	0.08	0.0982
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.59	0.62	0.5679
Stereolithography (SLA)	0.40	0.29	0.31	0.3339

Material: Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA				
Qualidade	MJ	FDM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.06	0.05	0.08	0.0640
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.56	0.47	0.46	0.4992
Stereolithography (SLA)	0.38	0.47	0.46	0.4367

Material: Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA				
Velocidade	MJ	FDM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.82	0.82	0.82	0.8182
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.09	0.09	0.09	0.0909
Stereolithography (SLA)	0.09	0.09	0.09	0.0909

Material: Liga de Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	FDM	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.82	0.82	0.82	0.8182
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.09	0.09	0.09	0.0909
Stereolithography (SLA)	0.09	0.09	0.09	0.0909

Material: Liga de Fotopolímero - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Material Jetting (MJ)	0.9164
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.6588
Stereolithography (SLA)	0.4248

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE L – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL AÇO INOXIDÁVEL

Quadro 48 - Matrizes de Comparação – Material Aço Inoxidável

Material: Aço Inoxidável			
Custo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1

Material: Aço Inoxidável			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/9
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	1/2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	2	1

Material: Aço Inoxidável			
Qualidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9	9
Selective Laser Melting (SLM)	1/9	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1/2	1

Material: Aço Inoxidável			
Velocidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/2	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	2	1	1/5
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	5	1

Material: Aço Inoxidável			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 49 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Aço Inoxidável

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA				
Custo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Melting (SLM)	0.25	0.25	0.25	0.2500
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.25	0.25	0.25	0.2500

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.06	0.05	0.07	0.0577
Selective Laser Melting (SLM)	0.41	0.32	0.31	0.3468
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.53	0.64	0.62	0.5955

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA				
Qualidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.82	0.86	0.75	0.8084
Selective Laser Melting (SLM)	0.09	0.10	0.17	0.1176
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.09	0.05	0.08	0.0740

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA				
Velocidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.11	0.08	0.12	0.1033
Selective Laser Melting (SLM)	0.22	0.15	0.15	0.1741
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.67	0.77	0.73	0.7225

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.07	0.09	0.05	0.0703
Selective Laser Melting (SLM)	0.50	0.61	0.63	0.5801
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.43	0.30	0.32	0.3496

Material: Aço Inoxidável - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.1281
Selective Laser Melting (SLM)	0.9269
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.9451

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE M – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL ALUMÍNIO

Quadro 50 - Matrizes de Comparação – Material Alumínio

Material: Liga de Alumínio			
Custo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1	1
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1/1	1

Material: Liga de Alumínio			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/9
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	1/2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	2	1

Material: Liga de Alumínio			
Qualidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9	9
Selective Laser Melting (SLM)	1/9	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1/2	1

Material: Liga de Alumínio			
Velocidade	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/2	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	2	1	1/5
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	5	1

Material: Liga de Alumínio			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/7	1/6
Selective Laser Melting (SLM)	7	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 51 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Alumínio

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA				
Custo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Melting (SLM)	0.25	0.25	0.25	0.2500
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.25	0.25	0.25	0.2500

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.06	0.05	0.07	0.0577
Selective Laser Melting (SLM)	0.41	0.32	0.31	0.3468
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.53	0.64	0.62	0.5955

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA				
Qualidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.82	0.86	0.75	0.8084
Selective Laser Melting (SLM)	0.09	0.10	0.17	0.1176
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.09	0.05	0.08	0.0740

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA				
Velocidade	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.11	0.08	0.12	0.1033
Selective Laser Melting (SLM)	0.22	0.15	0.15	0.1741
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.67	0.77	0.73	0.7225

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA				
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.07	0.09	0.05	0.0703
Selective Laser Melting (SLM)	0.50	0.61	0.63	0.5801
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.43	0.30	0.32	0.3496

Material: Liga de Alumínio - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.1281
Selective Laser Melting (SLM)	0.9269
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.9451

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE N – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL COBRE

Quadro 52 - Matrizes de Comparação – Material Cobre

Material: Liga de Cobre		
Custo	FDM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/2	1

Material: Liga de Cobre		
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/9
Laser Engineering Net Shape (LENS)	9	1

Material: Liga de Cobre		
Qualidade	FDM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1/9	1

Material: Liga de Cobre		
Velocidade	FDM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/6
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1

Material: Liga de Cobre		
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	LENS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/6
Laser Engineering Net Shape (LENS)	6	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 53 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Cobre

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA			
Custo	FDM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.67	0.67	0.6667
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.33	0.33	0.3333

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.10	0.10	0.1000
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.90	0.90	0.9000

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA			
Qualidade	FDM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.90	0.90	0.9000
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.10	0.10	0.1000

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA			
Velocidade	FDM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.14	0.14	0.1429
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.86	0.86	0.8571

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	LENS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.14	0.14	0.1429
Laser Engineering Net Shape (LENS)	0.86	0.86	0.8571

Material: Liga de Cobre - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.2429
Laser Engineering Net Shape (LENS)	1.7571

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE O – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL CROMO-COBALTO

Quadro 54 - Matrizes de Comparação – Material Cromo-Cobalto

Material: Liga de Cromo-Cobalto		
Custo	EBM	SLM
Electron Beam Melting (EBM)	1	1
Selective Laser Melting (SLM)	1/1	1

Material: Liga de Cromo-Cobalto		
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	EBM	SLM
Electron Beam Melting (EBM)	1	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1

Material: Liga de Cromo-Cobalto		
Qualidade	EBM	SLM
Electron Beam Melting (EBM)	1	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1

Material: Liga de Cromo-Cobalto		
Velocidade	EBM	SLM
Electron Beam Melting (EBM)	1	7
Selective Laser Melting (SLM)	1/7	1

Material: Liga de Cromo-Cobalto		
Flexibilidade - Espessura Camada	EBM	SLM
Electron Beam Melting (EBM)	1	2
Selective Laser Melting (SLM)	1/2	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 55 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Cromo-Cobalto

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA			
Custo	EBM	SLM	Vetor Prioridade
Electron Beam Melting (EBM)	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Melting (SLM)	0.50	0.50	0.5000

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	EBM	SLM	Vetor Prioridade
Electron Beam Melting (EBM)	0.67	0.67	0.6667
Selective Laser Melting (SLM)	0.33	0.33	0.3333

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA			
Qualidade	EBM	SLM	Vetor Prioridade
Electron Beam Melting (EBM)	0.67	0.67	0.6667
Selective Laser Melting (SLM)	0.33	0.33	0.3333

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA			
Velocidade	EBM	SLM	Vetor Prioridade
Electron Beam Melting (EBM)	0.88	0.88	0.8750
Selective Laser Melting (SLM)	0.13	0.13	0.1250

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Espessura Camada	EBM	SLM	Vetor Prioridade
Electron Beam Melting (EBM)	0.67	0.67	0.6667
Selective Laser Melting (SLM)	0.33	0.33	0.3333

Material: Liga de Cromo-Cobalto - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Electron Beam Melting (EBM)	1.3333
Selective Laser Melting (SLM)	0.6667

Fonte: O Autor (2019).

**APÊNDICE P – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL PLÁSTICO
CURADO**

Quadro 56 - Matrizes de Comparação – Material Plástico Curado

Material: Plástico Curado UV		
Custo	MJ	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1
Stereolithography (SLA)	1/1	1

Material: Plástico Curado UV		
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/4
Stereolithography (SLA)	4	1

Material: Plástico Curado UV		
Qualidade	MJ	SLA
Material Jetting (MJ)	1	1/6
Stereolithography (SLA)	6	1

Material: Plástico Curado UV		
Velocidade	MJ	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9
Stereolithography (SLA)	1/9	1

Material: Plástico Curado UV		
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	SLA
Material Jetting (MJ)	1	9
Stereolithography (SLA)	1/9	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 57 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Plástico Curado UV

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA			
Custo	MJ	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.50	0.50	0.5000
Stereolithography (SLA)	0.50	0.50	0.5000

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	MJ	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.20	0.20	0.2000
Stereolithography (SLA)	0.80	0.80	0.8000

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA			
Qualidade	MJ	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.14	0.14	0.1429
Stereolithography (SLA)	0.86	0.86	0.8571

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA			
Velocidade	MJ	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.90	0.90	0.9000
Stereolithography (SLA)	0.10	0.10	0.1000

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Espessura Camada	MJ	SLA	Vetor Prioridade
Material Jetting (MJ)	0.90	0.90	0.9000
Stereolithography (SLA)	0.10	0.10	0.1000

Material: Plástico Curado UV - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Material Jetting (MJ)	1.1000
Stereolithography (SLA)	0.9000

Fonte: O Autor (2019).

APÊNDICE Q – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLIESTIRENO

Quadro 58 - Matrizes de Comparação – Material Poliestireno

Material: Poliestireno		
Custo	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2
Selective Laser Sintering (SLS)	1/2	1

Material: Poliestireno		
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/6
Selective Laser Sintering (SLS)	6	1

Material: Poliestireno		
Qualidade	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9
Selective Laser Sintering (SLS)	1/9	1

Material: Poliestireno		
Velocidade	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/5
Selective Laser Sintering (SLS)	5	1

Material: Poliestireno		
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1
Selective Laser Sintering (SLS)	1/1	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 59 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Poliestireno

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA			
Custo	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.67	0.67	0.6667
Selective Laser Sintering (SLS)	0.33	0.33	0.3333

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.14	0.14	0.1429
Selective Laser Sintering (SLS)	0.86	0.86	0.8571

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA			
Qualidade	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.90	0.90	0.9000
Selective Laser Sintering (SLS)	0.10	0.10	0.1000

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA			
Velocidade	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.17	0.17	0.1667
Selective Laser Sintering (SLS)	0.83	0.83	0.8333

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Sintering (SLS)	0.50	0.50	0.5000

Material: Poliestireno - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.642857143
Selective Laser Sintering (SLS)	1.357142857

Fonte: O Autor (2019).

**APÊNDICE R – BANCO DE DADOS – ANÁLISE PAREADA AHP – MATERIAL POLÍMERO
TERMOPLÁSTICO**

Quadro 60 - Matrizes de Comparação – Material Polímero Termoplástico

Material: Polímero Termoplástico		
Custo	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	2
Selective Laser Sintering (SLS)	1/2	1

Material: Polímero Termoplástico		
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/6
Selective Laser Sintering (SLS)	6	1

Material: Polímero Termoplástico		
Qualidade	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	9
Selective Laser Sintering (SLS)	1/9	1

Material: Polímero Termoplástico		
Velocidade	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1/5
Selective Laser Sintering (SLS)	5	1

Material: Polímero Termoplástico		
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLS
Fused Deposition Modeling (FDM)	1	1
Selective Laser Sintering (SLS)	1/1	1

Fonte: O Autor (2019).

Quadro 61 - Matrizes Normalizadas e Vetor Prioridade – Material Polímero Termoplástico

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA			
Custo	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.67	0.67	0.6667
Selective Laser Sintering (SLS)	0.33	0.33	0.3333

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Tamanho Protótipo	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.14	0.14	0.1429
Selective Laser Sintering (SLS)	0.86	0.86	0.8571

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA			
Qualidade	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.90	0.90	0.9000
Selective Laser Sintering (SLS)	0.10	0.10	0.1000

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA			
Velocidade	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.17	0.17	0.1667
Selective Laser Sintering (SLS)	0.83	0.83	0.8333

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA			
Flexibilidade - Espessura Camada	FDM	SLS	Vetor Prioridade
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.50	0.50	0.5000
Selective Laser Sintering (SLS)	0.50	0.50	0.5000

Material: Polímero Termoplástico - MATRIZ NORMALIZADA	
Flexibilidade	Vetor Prioridade Total - FLEXIBILIDADE
Fused Deposition Modeling (FDM)	0.642857143
Selective Laser Sintering (SLS)	1.357142857

Fonte: O Autor (2019).